



UNIVERSIDADE DO VALE DO TAQUARI - UNIVATES
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**DESENVOLVIMENTO DE MATERIAL PARA ISOLAMENTO
TÉRMICO A PARTIR DA RECICLAGEM DE SLIMSTONE**

Leonardo Sangalli

Lajeado, novembro de 2018

Leonardo Sangalli

**DESENVOLVIMENTO DE MATERIAL PARA ISOLAMENTO
TÉRMICO A PARTIR DA RECICLAGEM DE SLIMSTONE**

Monografia apresentado na disciplina de
Trabalho de Conclusão de Curso I do
Curso de Engenharia Civil da
Universidade do Vale do Taquari -
UNIVATES, para avaliação.

Orientador: Prof. Me. Rodrigo Spinelli

Lajeado, novembro de 2018

RESUMO

A taxa de desenvolvimento industrial cresce em ritmo alto e junto com ela a quantia de resíduos produzidos por esse crescimento. Visto que o termo sustentabilidade é amplamente utilizado nos tempos modernos, é necessário encontrar local para deposição desses resíduos. Além dos resíduos, na construção civil, é estudada a eficiência energética das edificações, podendo ser otimizada com artifícios que melhorem o conforto térmico, reduzindo o consumo de energia. Uma das formas de otimizar o conforto térmico sem utilização de climatização artificial é o uso de elementos isolantes nas fachadas. O atual estudo se justifica pelos dois motivos: ser uma forma de embutir material que seria descartado; criar um novo elemento isolante térmico. Para comprovação da viabilidade técnica do uso de slimstone composite (material) foram realizados testes em torno da condutividade do elemento. Para os testes foram construídos três protótipos em escala reduzida (60 x 60 x 64cm) de tijolo maciço, sendo que o diferencial entre os protótipos é o revestimento. O protótipo I não possui revestimento, o protótipo II possui revestimento de reboco convencional e o protótipo III possui revestimento com placas de slimstone composite. Os resultados obtidos nos testes provam que o slimstone composite é tecnicamente viável como isolante térmico, pois, retarda a entrada externa de calor e aumenta o atraso térmico. Além do ganho térmico, observa-se o ganho ambiental, ao utilizar material que seria descartado em aterro sanitário. Em simulação de consumo mensal de energia, o protótipo III teve economia de 58,75% com relação ao protótipo I e 49,13% com relação ao protótipo II.

Palavras-chave: Conforto Térmico. Construção Civil. Eficiência Térmica. Resíduos. Slimstone Composite.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Zonas bioclimáticas do Brasil.....	18
Figura 2 – EcoCommercial Building (São Paulo)	21
Figura 3 – Estádio Mineirão (Belo Horizonte).....	22
Figura 4 – Crystal Island (Moscou, Rússia)	23
Figura 5 – CH2 (Melbourne, Austrália)	24
Figura 6 – Carta bioclimática de Lajeado	29
Figura 7 – Composição da placa de slimstone	35
Figura 8 – Placa de slimstone	36
Figura 9 – Local onde foram desenvolvidos os protótipos	38
Figura 10 – Processo de corte dos resíduos.....	39
Figura 11 – Placas envoltas em tela de fibra de vidro	39
Figura 12 – Fabricação das placas de isolamento térmico	40
Figura 13 – Cura úmida das placas de isolamento	40
Figura 14 – Desenvolvimento dos protótipos I, II e III	41
Figura 15 – Protótipos I, II e III.....	42
Figura 16 – Aparelhos de medição em uso	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Deslocamentos limites e tipo de deslocamentos.....	17
Tabela 2 – Propriedades térmicas dos materiais	44

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Temperaturas máximas permitidas no verão	18
Quadro 2 – Temperaturas mínimas permitidas no inverno	19
Quadro 3 – Características das composições de musgo e cana	31
Quadro 4 – Características das composições de musgo e palha.....	31
Quadro 5 – Resistência térmica de câmaras de ar não ventiladas	45
Quadro 6 – Resistência térmica superficial interna e externa	46
Quadro 7 – Tabela de absortividade.....	47
Quadro 8 – Índice de radiação solar	48
Quadro 9 – Temperaturas máximas	62
Quadro 10 – Simulação do protótipo I.....	73
Quadro 11 – Simulação do protótipo II.....	74
Quadro 12 – Simulação do protótipo III	75
Quadro 13 – Atraso térmico nos protótipos.....	78
Quadro 14 – Simulação do cômodo I	80
Quadro 15 – Simulação do cômodo II	81
Quadro 16 – Simulação do cômodo III.....	82

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Temperatura máxima durante todo período de aferição	51
Gráfico 2 – Comparativo de temperaturas do dia 19/09/2018	53
Gráfico 3 – Comparativo de temperaturas do dia 22/09/2018	54
Gráfico 4 – Comparativo de temperaturas do dia 29/09/2018	55
Gráfico 5 – Comparativo de temperaturas do dia 22/10/2018	56
Gráfico 6 – Comparativo de temperaturas do dia 30/10/2018	57
Gráfico 7 – Comparativo de temperaturas do dia 09/11/2018.....	58
Gráfico 8 – Comparativo de temperaturas do dia 10/11/2018.....	59
Gráfico 9 – Comparativo de temperaturas do dia 11/11/2018.....	60
Gráfico 10 – Comparativo de temperaturas do dia 12/11/2018.....	61
Gráfico 11 – Carga térmica do dia 19/09/2018.....	64
Gráfico 12 – Carga térmica do dia 22/09/2018	65
Gráfico 13 – Carga térmica do dia 29/09/2018	66
Gráfico 14 – Carga térmica do dia 22/10/2018	67
Gráfico 15 – Carga térmica do dia 30/10/2018	68
Gráfico 16 – Carga térmica do dia 09/11/2018.....	69
Gráfico 17 – Carga térmica do dia 10/11/2018.....	70
Gráfico 18 – Carga térmica do dia 11/11/2018.....	71
Gráfico 19 – Carga térmica do dia 12/11/2018.....	72
Gráfico 20 – Representatividade na carga térmica do protótipo I.....	76
Gráfico 21 – Representatividade na carga térmica do protótipo II.....	76
Gráfico 22 – Representatividade na carga térmica do protótipo III	77
Gráfico 23 – Simulação de carga térmica nos cômodos I, II e III no dia 12/11/2018	79

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

%	Por cento
°C	Graus célsius
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AQUA	Selo de Alta Qualidade Ambiental
Asmare	Associação dos Catadores de Papel, Papelão e Materiais Reaproveitáveis de Belo Horizonte
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
BTU	British thermal unit
CBR	California Bearing Ratio
CNPE	Conselho Nacional de Política Energética
CH2	Melbourne's Council House 2 Building
CIB	Conselho Internacional da Construção
cm	Centímetro
CO2	Dióxido de carbono
CP IV	Cimento Portland Pozolânico
CP V-ARI	Cimento Portland de Alta Resistência Inicial
ECB	EcoCommercial Building
g	Grama
h	Hora
I	Radiação Solar
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
K	Kelvin
kJ	QuiloJoule
kg	Quilograma

kW	QuiloWatt
LATEC	Laboratório de Tecnologias da Construção
LED	Light Emitting Diode
LEED	Leadership in Energy and Environmental Design
m	Metro
m ²	Metro quadrado
m ³	Metro cúbico
mm	Milímetro
MPa	Megapascal
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
NIH	Núcleo de Informações Hidrometeorológicas
PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem
PET	Poli Tereftalato de Etila
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
PROESCO	Programa de Apoio a Projetos de Eficiência Energética
Q	Carga térmica
q	Fluxo térmico
R	Resistência térmica dos materiais
RCD	Resíduo de construção e demolição
RGE	Rio Grande Energia
R\$	Reais
R _{se}	Resistência superficial externa
R _{si}	Resistência superficial interna
R _t	Resistência térmica do elemento
RT	Resistência térmica total
TBS	Temperatura de bulbo seco
TBU	Temperatura de bulbo umido
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
T _e	Temperatura externa
T _i	Temperatura interna
U	Transmitância Térmica
UFRN	Universidade Federal do Rio Grande do Norte
UR	Umidade relativa do ar
W	Watt
α	Absortividade da superfície externa do fechamento

ρ	Massa específica
λ	Condutividade térmica

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
1.1 Objetivos.....	12
1.1.1 Objetivo principal	12
1.1.2 Objetivos específicos	12
1.2 Justificativa	13
1.3 Delimitação do trabalho.....	13
1.4 Estrutura do trabalho	13
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1 Normas de desempenho	15
2.2 Construções sustentáveis.....	19
2.3 Eficiência energética	25
2.4 Conforto térmico	27
2.5 Materiais sustentáveis	29
2.6 Materiais reciclados	31
2.7 Slimstone composite	34
3 MATERIAIS E MÉTODOS	37
3.1 Pesquisa	38
3.2 Confeção das placas de isolamento a partir do slimstone composite	38
3.3 Elaboração dos protótipos	41
3.4 Aparelhos de medição.....	42
3.5 Elementos gráficos	43
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	50
4.1 Comparativo de temperatura diária	52
4.2 Comparativo de temperatura por 48 horas.....	61
4.3 Comparativo de carga térmica	63
4.4 Representatividade dos fechamentos.....	72
4.5 Atraso térmico	77
4.6 Consumo de energia	78
4.6.1 Cômodo I	80
4.6.2 Cômodo II.....	81
4.6.3 Cômodo III	82

5 CONCLUSÃO.....	84
-------------------------	-----------

REFERÊNCIAS.....	87
-------------------------	-----------

1 INTRODUÇÃO

O crescimento desenfreado das atividades industriais e humanas na generalidade resulta em um número de resíduos gerados grande a partir da produção de produtos. A reciclagem e reutilização de resíduos tem alto potencial de crescimento, principalmente em países desenvolvidos e com pouco recurso natural disponível (GARLET, 1998).

Nesse cenário, por deter atividade tecnológica que dissipa grande volume de recursos naturais, o setor de construção civil é o principal indicado para receber e consumir os resíduos sólidos como matéria-prima (LUCAS et al., 2008).

O Conselho Internacional da Construção (CIB) afirma que o setor industrial da construção figura como o setor de atividades que mais utiliza recursos naturais e consome energia em demasia, originando grandes impactos ambientais. Além dos impactos ambientais subsequentes do consumo de energia e recurso, existem os impactos relacionados à geração de resíduos. É estimado que mais de metade dos resíduos produzidos por todas as atividades humanas possuam origem do setor de construção. (CIB, 2000).

Reconhecendo o setor de construção civil como grande consumidor na reutilização de materiais recicláveis e sustentáveis é preciso verificar quais são as principais carências que o mundo ou a localidade apresentam. Entre os pontos mais estudados no momento cita-se como principal a sustentabilidade dos edifícios. O conforto térmico sem utilização de climatização artificial é importante para obter-se uma edificação sustentável (ALIAKSANDR et al., 2018). Portanto, é possível que se resolva dois problemas com a aplicação de materiais reciclados, provenientes de outras obras, nos materiais de isolamento térmico. Isso resolve o problema de deposição dos materiais retirados do canteiro de obras e também proporciona um material com custo baixo e de grande ganho ambiental para utilizar no isolamento térmico.

No atual projeto, o principal eixo de estudo será a criação de uma placa de isolamento térmico utilizando o material reciclado de slimstone composite, visando desenvolver um produto que seja, ao mesmo tempo, eficiente termicamente, tenha baixo custo e evite a deposição em aterros do slimstone composite. Para comprovar a eficiência da placa serão desenvolvidos três protótipos, um desenvolvido convencionalmente sem revestimento, um desenvolvido convencionalmente com revestimento de reboco comum e um com placas desenvolvidas a partir de resíduos slimstone composite.

O atual estudo inicia com a revisão bibliográfica sobre as normas de desempenho, seguida de uma revisão sobre construções sustentáveis, eficiência energética, conforto térmico, materiais sustentáveis, materiais reciclados e sobre o slimstone composite. Em seguida é apresentada a metodologia utilizada no estudo e finaliza-se com a apresentação dos resultados e a partir destes, a conclusão da pesquisa.

1.1 Objetivos

Os objetivos do atual projeto são divididos em principal e específicos.

1.1.1 Objetivo principal

O objetivo geral do presente projeto é criar uma pesquisa que relacione a eficiência energética e o conforto térmico das edificações, realizando a substituição de materiais de isolamento térmico por slimstone composite, obtendo um estudo comparativo entre os materiais.

1.1.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos irão auxiliar o alcance do objetivo principal. São eles:

- Analisar de forma comparativa diferentes tipos de revestimento de fachada, em relação a material desenvolvido com reciclagem de slimstone composite;
- Aferir as temperaturas externas e internas dos protótipos com uso de sensores de temperatura e registrados com *FieldLogger*;

– Comparar os resultados de desempenho térmico entre os protótipos, a fim de atestar a eficiência do material reciclado.

1.2 Justificativa

A sustentabilidade é uma das palavras mais procuradas atualmente quando se fala em inovação no mercado da construção civil. Para obter um edifício sustentável é preciso que o mesmo tenha um benefício ambiental importante e entre os diversos pontos possíveis para otimizar, o conforto térmico e a reutilização de materiais são pontos muito estudados.

Perante isso, o trabalho pretende realizar alguns monitoramentos em torno da eficiência térmica de protótipos desenvolvidos pelo autor com material reciclado de slimstone composite e com material convencional a fim de analisar a possibilidade de aplicação, melhorando a qualidade do ambiente, termicamente falando, e evitar o depósito na natureza do material reciclado.

1.3 Delimitação do trabalho

A atual pesquisa apresenta o uso de revestimento reciclado de slimstone composite como forma de otimizar o isolamento térmico de uma parede. Portanto, serão observadas as propriedades do material que interfiram na eficiência energética e na qualidade térmica do ambiente.

Para observar essas propriedades serão construídos três protótipos distintos e realizados testes pertinentes às propriedades. Um protótipo será construído de forma convencional sem revestimento, isto é, sem nenhum tipo de isolamento, um de forma convencional com revestimento de reboco convencional e um com placas construídas a partir de resíduos de slimstone composite.

1.4 Estrutura do trabalho

O estudo está dividido em cinco capítulos. O primeiro capítulo apresenta uma curta introdução ao assunto, seguida dos objetivos, da justificativa, da delimitação e da estrutura da pesquisa.

No segundo capítulo é abordada uma revisão bibliográfica sobre o assunto, iniciando sobre as normas de desempenho, passando para alguns exemplos de construções sustentáveis ao redor do Brasil e do mundo. Em seguida são apresentados alguns conceitos e considerações sobre eficiência energética e sobre conforto térmico. Dá-se sequência com considerações sobre materiais sustentáveis e com materiais reciclados, finalizando-se o capítulo com dados sobre o slimstone composite.

O terceiro capítulo apresenta a metodologia utilizada no estudo para obter êxito nos objetivos descritos anteriormente.

O quarto capítulo descreve os resultados obtidos com a metodologia proposta e discussão acerca dos resultados obtidos.

O quinto e último capítulo descreve as conclusões averiguadas com os estudos e sugestões para futuros trabalhos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Normas de desempenho

As normas de desempenho são desenvolvidas com base na necessidade dos usuários, independente dos processos construtivos ou dos materiais utilizados, mas sim como o produto final se comporta em uso. Já as normas prescritivas buscam estabelecer critérios de como devem ser executados os procedimentos para obter um produto (SAITO, 2009).

As normas de desempenho devem ser aplicadas a todos os tipos de edificações habitacionais, sejam elas em fase de projeto ou construídas (ABNT, 2013). É possível realizar a investigação do desempenho térmico de um imóvel tanto após o mesmo ser construído com medições no local, através de ponderação de variáveis que influenciam no desempenho térmico, quanto na etapa de projeto, avaliando-se os requisitos mínimos solicitados pela norma ou por demonstrações computacionais (ABNT, 2005).

Em 2005, a publicação da NBR 15.220 (2005) gerou uma nova responsabilidade para todos os profissionais que atuam na área de construção civil, necessitando-se dos mesmos, atenção para as características necessárias descritas na norma para que se providencie melhorias no desempenho térmico das edificações (ABNT, 2005).

A NBR 15.220 (2005) objetiva demonstrar métodos de cálculos para que se projete uma edificação confortável nesse quesito. Para isso estabelece métodos de cálculos de transmitância, atraso térmico, capacidade térmica, resistência e fator de calor solar (ABNT, 2005). Essa norma traz minuciosamente como realizar os cálculos, devendo seguir as fórmulas apresentadas na mesma.

A partir das tabelas e das fórmulas apresentadas na norma é possível estimar os parâmetros já descritos anteriormente e outros parâmetros para utilizar em diferentes situações. A NBR 15.220 (2005) ainda dispõe de um zoneamento bioclimático do Brasil, onde o mesmo é dividido em 8 diferentes áreas de acordo com o clima predominante e determina para cada área técnica construtiva, o que visa tornar o desempenho térmico mais eficiente (ABNT, 2005).

Nos dois últimos trechos da NBR 15.220 (2005), são descritas duas maneiras de medir a resistência térmica e a condutividade térmica em placas construídas. São retratados o método fluximétrico e o método da placa quente protegida (ABNT, 2005).

Em 2013, após período de revisão, a NBR 15.575 (2013) é outra norma que visa o conforto do usuário como prioritário. A norma aborda desempenho estrutural, segurança contra incêndio e no período de uso e operação, desempenho térmico, luminoso e acústico, funcionalidade e acessibilidade, conservação, estanqueidade e possibilidade de manutenção (ABNT, 2013).

A norma de 2013 é dividida em 6 partes: requisitos gerais; para sistemas estruturais; para pisos; para fechamentos verticais internos e externos; para coberturas; para sistemas hidrossanitários (ABNT, 2013). A nova norma só se aplica a novos projetos iniciados após o dia 19/07/2013. Construções em andamento, protocoladas até a data, obras de reformas e edificações provisórias não são obrigadas a atender aos requisitos da NBR 15.575 (2013) (ABNT, 2013).

Os responsáveis técnicos devem atender aos níveis mínimos de desempenho descritos na norma e podem atingir os níveis intermediários ou superiores. Esse nível mínimo deve ser atendido independente das solicitações externas. A edificação pode ser solicitada por agentes mecânicos, eletromagnéticos, térmicos, biológicos ou químicos (ABNT, 2013).

Os projetistas devem definir a vida útil de projeto e deve ter como base as boas práticas de projeto para conseguir entregar o projeto conforme as especificações. É obrigatório a descrição da vida útil de projeto no memorial de cálculo (ABNT, 2013).

A NBR 15.575 (2013) orienta ao projetista que, se houver local definido para implantação, o projeto deve ser analisado adequadamente prevendo o risco de enchentes, deslizamentos, erosão e outros. Com relação ao desempenho estrutural, a edificação deve

respeitar a Tabela 1, a seguir, além de suportar aos impactos de corpo mole e duro descritos na norma, às ações de ventos e a outras sobrecargas (ABNT, 2013).

Tabela 1 – Deslocamentos limites e tipo de deslocamentos

Razão da limitação	Elemento	Deslocamento limite	Tipo de deslocamento
Visual/insegurança psicológica	Pilares, paredes, vigas, lajes (componentes visíveis)	L/250 ou H/300*	Deslocamento final incluindo fluência (carga total)
Destacamentos, fissuras em vedações ou acabamentos, falhas na operação de caixilhos e instalações	Caixilhos, instalações, vedações e acabamentos rígidos (pisos, forros etc.)	L/800	Parcela da flecha ocorrida após a instalação da carga correspondente ao elemento em análise (parede, piso etc.)
	Divisórias leves, acabamentos flexíveis (pisos, forros etc.)	L/600	
Destacamentos e fissuras em vedações	Paredes e/ou acabamentos rígidos	L/500 ou H/500*	Distorção horizontal ou vertical provocada por variações de temperatura ou ação do vento, distorção angular devida ao recalque de fundações (deslocamentos totais)
	Paredes e acabamentos flexíveis	L/400 ou H/400*	

H é a altura do elemento estrutural.

L é o vão teórico do elemento estrutural.

* Para qualquer tipo de solicitação, o deslocamento horizontal máximo no topo do edifício deve ser limitado a H/500 ou 3 cm, respeitando-se o menor dos dois limites.

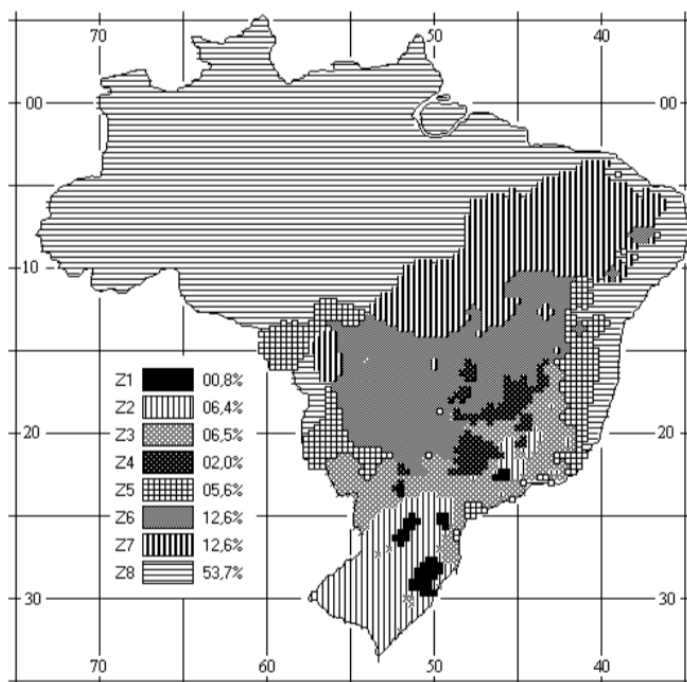
Nota: não podem ser aceitas falhas, a menos aquelas que estejam dentro dos limites previstos nas normas prescritivas específicas.

Fonte: ABNT, NBR 15.575 (2013).

Em relação à segurança contra incêndio, a norma preconiza que a edificação deve dificultar o início de incêndio, impedir a propagação, dispor de equipamentos de sinalização, iluminação e extinção de incêndio, limitar a fumaça e facilitar a fuga dos usuários em caso de sinistro. Quanto à segurança durante o uso, a edificação não pode manifestar rupturas, instabilidades, quedas, distanciamentos ou pontos com partes cortantes que possibilitem perigo à saúde dos usuários. Além disso, a edificação deve dispor de manual de operação, manutenção e uso (ABNT, 2013).

Tratando-se de desempenho térmico, a NBR 15.575 (2013) não considera o condicionamento térmico artificial da sala, porém, analisa as condições térmicas naturais da sala tendo como base para os parâmetros o mapa de zonas bioclimáticas do Brasil, acessível na NBR 15.220 (2005) (ABNT, 2013). A Figura 1 ilustra as zonas bioclimáticas disponível na norma.

Figura 1 – Zonas bioclimáticas do Brasil



Fonte: ABNT, NBR 15.220 (2005).

O Quadro 1 e o Quadro 2 definem os limites térmicos de cada zona no verão e inverno respectivamente.

Quadro 1 – Temperaturas máximas permitidas no verão

Nível de desempenho	Critério	
	Zonas 1 a 7	Zona 8
M	$T_{i,máx.} \leq T_{e,máx.}$	$T_{i,máx.} \leq T_{e,máx.}$
I	$T_{i,máx.} \leq (T_{e,máx.} - 2\text{ }^{\circ}\text{C})$	$T_{i,máx.} \leq (T_{e,máx.} - 1\text{ }^{\circ}\text{C})$
S	$T_{i,máx.} \leq (T_{e,máx.} - 4\text{ }^{\circ}\text{C})$	$T_{i,máx.} \leq (T_{e,máx.} - 2\text{ }^{\circ}\text{C})$ e
		$T_{i,mín.} \leq (T_{e,mín.} + 1\text{ }^{\circ}\text{C})$
<p>Ti,máx. é o valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius.</p> <p>Te,máx. é o valor máximo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius.</p> <p>Ti,mín. é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius.</p> <p>Te,mín. é o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius.</p> <p>NOTA Zonas bioclimáticas de acordo com a ABNT NBR 15220-3.</p>		

Fonte: ABNT, NBR 15.220 (2005).

Quadro 2 – Temperaturas mínimas permitidas no inverno

Nível de desempenho	Critério	
	Zonas bioclimáticas 1 a 5	Zonas bioclimáticas 6, 7 e 8
M	Ti,mín. ≥ (Te,mín. + 3 °C)	Nestas zonas, este critério não precisa ser verificado
I	Ti,mín. ≥ (Te,mín. + 5 °C)	
S	Ti,mín. ≥ (Te,mín. + 7 °C)	
Ti,mín. é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius.		
Te,mín. é o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius.		
NOTA Zonas bioclimáticas de acordo com a ABNT NBR 15220-3.		

Fonte: ABNT, NBR 15.220 (2005).

A norma aborda ainda o desempenho acústico, não determinando critérios fixos de desempenho, mas sendo necessário desenvolver um estudo local caso for constatado que o conforto esteja comprometido devido à localização e consequentemente das atividades que ocorrem no entorno da edificação (ABNT, 2013).

Como últimas orientações, a NBR 15.575 (2013) normatiza o desempenho luminoso com base na NBR 15.215 (2004), e define orientações sobre estanqueidade, manutenção e durabilidade (ABNT, 2013).

Seguir as normas de desempenho não é apenas uma orientação, mas também uma lei. Em conformidade com o Código de Defesa do Consumidor, artigo 39, inciso VIII, é exigido ao fornecedor de serviços ou produtos, dispor no mercado, produtos ou serviços que estejam de acordo com as normas promulgadas por órgãos governamentais responsáveis ou, se não houverem normas específicas, que estejam em acordo com as normas expedidas por entidades credenciadas pelo Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (CONMETRO) (BRASIL, 1990).

2.2 Construções sustentáveis

O conceito de sustentabilidade no presente e nos próximos anos será gradualmente mais utilizado por todas as áreas de trabalho e desenvolvimento de produtos e, a área de engenharia civil, não só está inclusa nesse aglomerado de áreas, como é uma das principais interessadas nesse conceito (NASCIMENTO et al., 2016).

Há muitas definições de sustentabilidade descritas, mas pode-se considerar a origem

do conceito a partir da Comissão de Brundtland, em 1987, na qual se define sustentabilidade como o uso de bens naturais e da natureza de forma com que as necessidades da atual geração sejam sanadas sem comprometer a disponibilidade para as necessidades das futuras gerações (KEEBLE, 1988). Desde então, diversas definições com outras perspectivas de sustentabilidade surgiram com significado voltado para áreas específicas.

A parcela de profissionais atuantes na construção civil deve maximizar a concepção de construções sustentáveis. As construções sustentáveis devem atender às necessidades das edificações e dos seus arredores causando mudanças conscientes sem que haja prejuízo ambiental, promovendo a qualidade de vida da atual sociedade e de futuras (ARAÚJO, 2008).

Uma edificação sustentável pode funcionar em conjunto em todas as necessidades ambientais, mas pode atuar individualmente em cada necessidade. A edificação deverá buscar reduzir o consumo de energia referente à iluminação com alteração da arquitetura de forma a propiciar maior incidência de luz natural, deverá buscar reduzir o consumo de energia para climatização dos ambientes com projetos que proporcionem melhor circulação da ventilação, orientando fachadas de forma estratégica e utilizando materiais de isolamento que sejam naturais e com mínimo impacto ambiental possível no seu ciclo de vida. Além disso, deverá objetivar gerar economia no consumo de água, assegurar o conforto térmico e acústico, bem como antever a gestão de resíduos, dependendo da finalidade da edificação (QUINTÃO, 2012).

É necessário considerar todos os detalhes, incluindo o ciclo de vida dos materiais aplicados, pois, por vezes um material tem excelente desempenho na função desejada e ambientalmente não impacta durante o uso, porém, no momento de fabricação ou descarte tem enorme impacto ambiental (ARAÚJO, 2008).

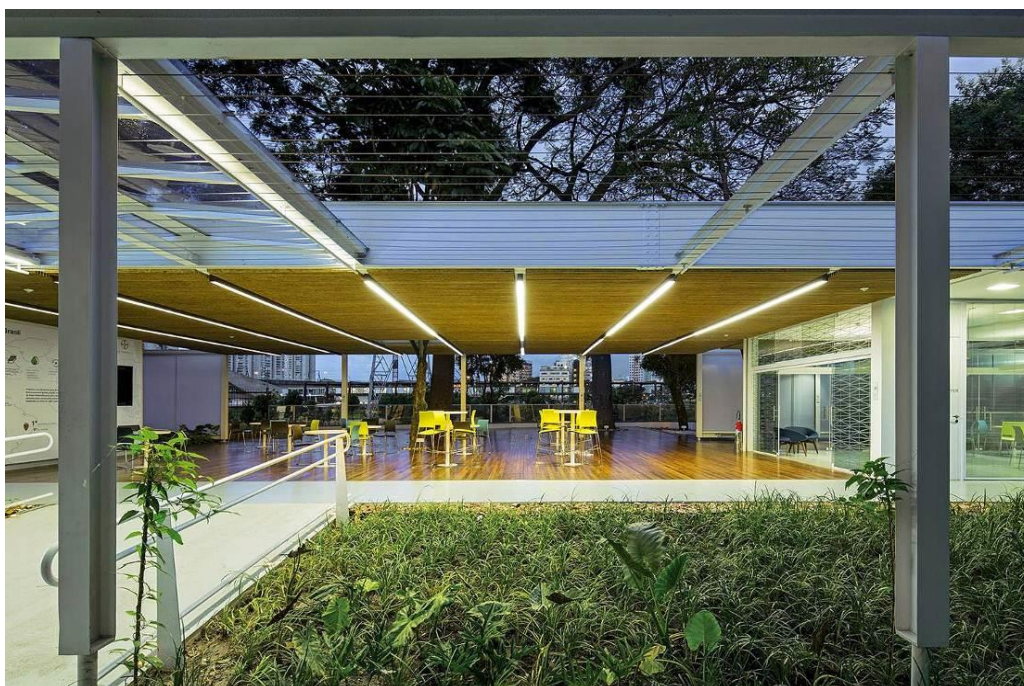
O cuidado com relação ao meio ambiente no Brasil está progredindo e o reflexo deste progresso são os vários selos de certificação ambiental. No ramo da engenharia, pode-se citar o selo de qualidade-ABNT-ambiental que está presente em aço e certifica que todo processo dentro da empresa, desde a concepção do produto, foi realizado de forma sustentável. O selo Procel é o selo do INMETRO que está presente nos equipamentos domésticos demonstrando a eficiência energética dos aparelhos. O selo AQUA analisa os impactos gerados pela edificação. Os impactos levados em consideração são nas fases de planejamento e construção (FCAV, 2007). Além dos selos brasileiro, é preciso citar o selo americano LEED (Leadership

in Energy and Environmental Design). Ele foi criado pela U. S. Green Building Council e para obtenção do certificado não basta o empreendimento ser sustentável, ele deve ser economicamente viável e ser socialmente correto. É o certificado mais reconhecido internacionalmente (NASCIMENTO et al., 2016).

No mundo e no Brasil encontra-se um número significativo de edificações que utilizam a sustentabilidade na concepção.

O EcoCommercial Building (ECB), localizado em São Paulo, já recebeu nível máximo em certificação de sustentabilidade (LEED-NC Platinum). Isso graças à sua redução de 95% do consumo de água potável graças à reutilização de água das chuvas, à sua capacidade de gerar praticamente toda energia consumida graças aos painéis solares instituídos e painéis translúcidos que permitem entrada de luz natural e bloqueiam o calor. Todos os ambientes concebem acesso à luz e ventilação natural e apenas 5% deles necessitam de uso de ar condicionado. Além disso, 97% dos resíduos da obra foram destinados à reciclagem ou reaproveitamento (CIMENTO ITAMBE, 2015, texto digital). A Figura 2 ilustra o EcoCommercial Building.

Figura 2 – EcoCommercial Building (São Paulo)



Fonte: cimentoitambe.com.br.

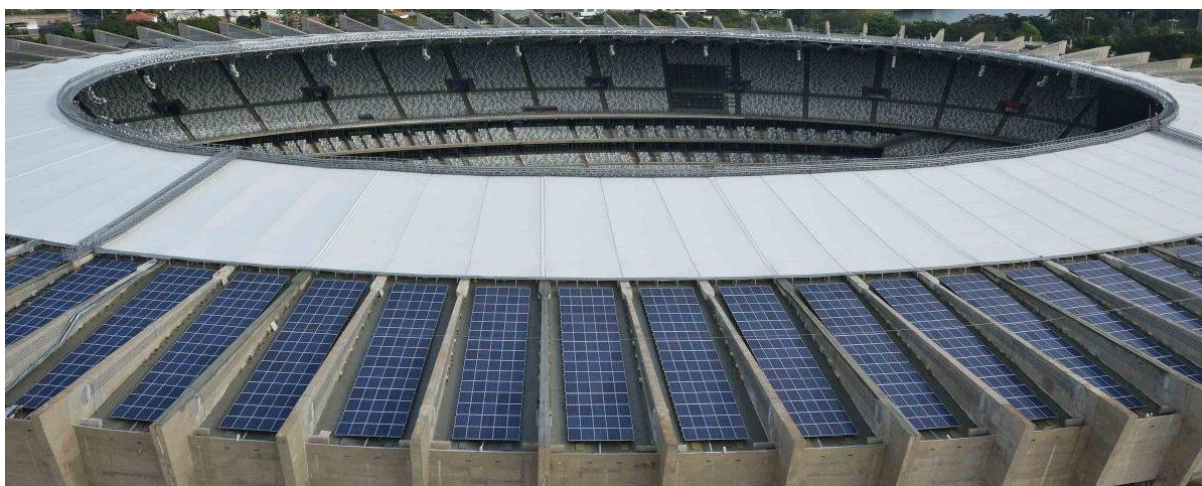
No Brasil, a primeira indústria a conseguir a certificação LEED foi a fábrica da Coca-

Cola, localizada no Paraná. Estima-se que a edificação economize cerca de 25% de energia por meio de telhado verde, telhas translúcidas que permitem iluminação natural e ventilação natural, que reduz a utilização de climatização artificial. O consumo de água também é reduzido, cerca de 37% de redução, graças à reutilização da água das chuvas para setores como banheiros, irrigação e limpeza. Além disso, o empreendimento possui cerca de 40% de área de vegetação em relação à área integral (LÔBO et al., 2011).

O Edifício Porto Brasil, no Rio de Janeiro, possui fachada com pele de vidro *low-e*, sistema de reaproveitamento da água das chuvas, construção da obra com materiais reciclados, 70% de iluminação natural e restante da iluminação por LED, poupando energia. O edifício possui certificação LEED e AQUA (DI TRAPANO, 2013).

O Estádio Mineirão, em Belo Horizonte, é revestido com placas fotovoltaicas capazes de fornecer energia elétrica em prol de mais de 1200 casas e o abastecimento de água dos lavatórios são provenientes da captação da água das chuvas. Em dias de jogos, embalagens recicláveis como latinhas e garrafas PET são doadas ao Asmare (Associação dos Catadores de Papel, Papelão e Materiais Reaproveitáveis de Belo Horizonte) e a poda da grama é doada para centros de compostagem (DE OLIVEIRA et al., 2017). A Figura 3 representa os painéis solares presentes no anel superior do estádio.

Figura 3 – Estádio Mineirão (Belo Horizonte)



Fonte: estadiomineirao.com.br.

Além dos exemplos situados no Brasil, há muitas referências sustentáveis ao redor do mundo. Cita-se como principais a Crystal Island (Moscou, Rússia), o Bank of America (Nova

Iorque, EUA), o CH2 (Melbourne, Austrália), a India Tower (Mumbai, Índia), o Burj Al-Taqa (Dubai, Emirados Árabes) e o Masdar (Abu Dhabi, Emirados Árabes) (AL-KODMANY, 2013).

A Crystal Island é um edifício russo energeticamente autossuficiente, capaz de comportar 30.000 pessoas em seus 450 metros de altura e design diferenciado. A energia é proveniente de turbinas e painéis solares que são capazes de fornecer energia a todos os ambientes. Ainda possui dispositivo ecológico capaz de controlar a temperatura durante o ano todo, protegendo do frio no inverno e amenizando o calor no verão (NASCIMENTO et al., 2016). A Figura 4 ilustra a Crystal Island.

O Bank of America foi a primeira edificação do mundo a ser contemplada com o selo LEED *Platinum* sendo que o projeto foi pensado desde a fase de concepção até a fase de utilização. Na fase construtiva utilizou materiais renováveis e reciclados na composição, além de utilizar um concreto especial capaz de emitir menor índice de CO₂ no momento de mistura do cimento. A iluminação e ventilação naturais complementam um dos edifícios mais sustentáveis do mundo (NASCIMENTO et al., 2016).

Figura 4 – Crystal Island (Moscou, Rússia)



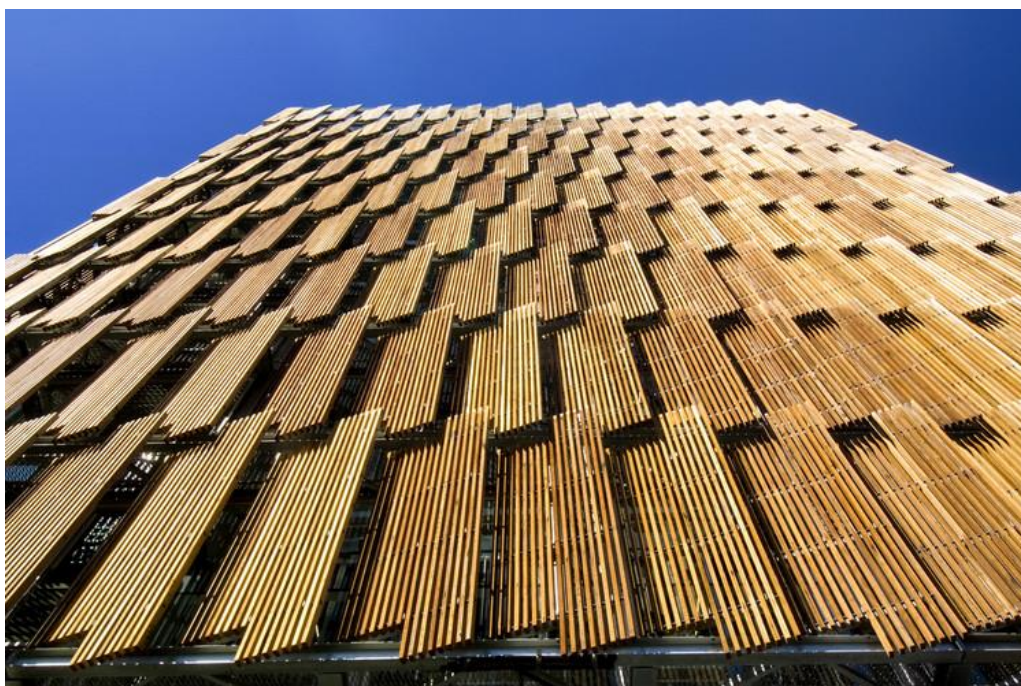
Fonte: Pinterest.

O CH2 foi o primeiro prédio da Austrália a receber seis estrelas do selo de qualidade

Australian Green Building Council. O motivo para tal premiação foram as várias características sustentáveis implantadas na edificação. Ela possui sistema de climatização artificial de baixo consumo de energia fundamentado em materiais em mudança de fase. Gera uma quantidade de 100.000 litros de água reciclados por dia. Possui janela automática que abre durante a noite no verão, dependendo da temperatura do concreto e a temperatura externa. Ainda porta uma fachada com painéis naturais que se movimentam com o movimento solar e excelente circulação e iluminação natural (BROWN, 2008). A Figura 5 ilustra a vista externa do edifício.

A edificação localizada na Índia, conhecida como India Tower recebeu selo LEED *Gold* em virtude da sua estrutura projetada desde os primeiros momentos de projeto. O arranha-céu possui ventilação e iluminação natural, reaproveitamento de águas pluviais e camada protetora com raios solares (NASCIMENTO et al., 2016).

Figura 5 – CH2 (Melbourne, Austrália)



Fonte: Pinterest.

O complexo arquitetônico, localizada em Dubai, nos Emirados Árabes, nomeado de Burj Al-Taqa possui aberturas a cada 5 andares para que a pressão negativa transfira o ar quente das salas para fora. Possui um escudo solar que segue o movimento do sol para evitar o aquecimento dos ambientes quando necessário e ativado. O edifício conta com formato

permite que o sistema capte cerca de 14 milhões de litros de água por ano, hélice no topo que produz energia eólica e painéis solares que geram energia solar (QUINTÃO, 2012).

O último da lista é a proposta de cidade sustentável Masdar, planejada em Abu Dhabi, nos Emirados Árabes. Os focos principais do projeto são na geração de energia, redução do consumo de energia, captação de água, uso de materiais sustentáveis, gestão de resíduos e de transportes (COSTA FILHO, 2014).

2.3 Eficiência energética

Dentre as características necessárias para uma edificação ser considerada sustentável, uma das principais é a eficiência energética. Essa importância ocorre pelo fato da energia ter impacto grande sobre o meio ambiente. No Brasil, a energia hidrelétrica é dominante e é capaz de produzir enorme quantidade de energia, possibilitando ao Brasil maior comodidade no consumo de energia. Na Europa, onde o espaço para produção de energia é menor e há muita população é preciso pensar em meios alternativos de gerar e administrar energia (MENDES et al., 2005).

Uma das formas de fazer melhor gestão da energia é construir edifício que sejam autossuficientes, capazes de produzir sua própria energia. Porém, esse tipo de edificação geralmente é atrelado a um custo de construção alto, possuindo projetos mais elaborados. A segunda opção seria projetar edifícios que reduzam o consumo energético por meio de iluminação e ventilação naturais. Essa opção é mais viável economicamente, visto que o mesmo pode ser auferido por meio de uma arquitetura diferenciada ou uso de materiais alternativos (NASCIMENTO et al., 2016).

Um edifício eficiente energeticamente deve fornecer iluminação natural satisfatoriamente a fim de reduzir a utilização de iluminação artificial. Porém, tal necessidade conflita, dependendo do clima local, pode gerar conflito com a eficiência térmica pela maior incidência da luz solar, portanto, é necessário considerar ambos no momento de projeto (CARLO et al., 2004).

Na cidade de Recife/PE, foi realizado um estudo para avaliar a eficiência energética de alguns protótipos de escritório a partir do Código de Obras do Recife com auxílio de tecnologia. Como resultado, os pesquisadores obtiveram um potencial redutivo entre 9% e

21% utilizando parâmetros limites do Código de Obras do Recife (CARLO et al., 2004).

Em outra pesquisa, realizada no Campus/UFRN, foram utilizados softwares para analisar três hipóteses de mudanças nos edifícios e verificar a influência de tais hipóteses no desempenho energético. Levou-se em consideração a modificação de geometria e de materiais, alteração de posicionamento de circulação e salas e uso de detalhes construtivos nas edificações, como sombreamento, cor do revestimento, entre outros. Verificou-se que todos os fatores influenciam diretamente a eficiência energética dos edifícios sendo o mais relevante nessa pesquisa o uso de proteções solares. Esse fator provocou redução do consumo de energia de até 15% e a cor utilizada em revestimentos pode alterar em até 6,1% a eficiência (VENÂNCIO et al., 2008).

Apesar de os benefícios de realizar simulações computacionais antes da realização do projeto, a técnica não é praticada no Brasil. Tais simulações são basicamente realizadas por institutos de pesquisas e em instituições acadêmicas, não existindo escritórios que pratiquem tal serviço. O cenário se sucede em praticamente todo mundo, com exceção da Alemanha que possui escritórios caracterizados a esse tipo de serviço. Apesar disso, é possível perceber evolução do setor no Brasil, com desenvolvimento de interfaces simplificadas para popularizar o produto (MENDES et al., 2005).

Apesar de fornecer energia elétrica em ampla escala, o governo brasileiro estabelece programas de incentivo à utilização consciente de energia elétrica. Cita-se as leis e programas desenvolvidos desde os protocolos de Montreal e Quioto a Lei nº 9.478, de 6 de agosto de 1997, que instituiu o CNPE (Conselho Nacional de Política Energética), a Lei nº 9.991, de 24 de julho de 2000, que obriga a aplicação de 0,50% do lucro das concessionárias que são responsáveis por distribuir energia elétrica em projetos de energia sustentável, o PROCEL (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica) que é um programa subdividido em pequenos programas com foco em ações nas áreas de consumo e administração de energia elétrica de edificações de patrimônio público, em geral dentro dos municípios. Além destes, pode-se citar o PBE (Programa Brasileiro de Etiquetagem), responsável pelos selos de eficiência energética dos utensílios eletrodomésticos, e o PROESCO, programa desenvolvido pelo BNDES para financiar projetos energeticamente eficientes (DE SOUZA et al., 2009).

2.4 Conforto térmico

Conhecendo os conceitos de sustentabilidade e de eficiência energética, fala-se sobre um ponto muito influente nos dois conceitos. O conforto térmico está diretamente atado à sustentabilidade e à eficiência energética, pois, se a edificação possuir desempenho térmico satisfatório reduz o consumo de energia para climatização dos ambientes e consequentemente torna o edifício sustentável (RAMOS et al., 2017).

Para falar sobre conforto térmico, é preciso conceituar algumas expressões. Transmissão de calor é o fluxo de calor transmitido de um corpo com determinada temperatura para um corpo com temperatura inferior ao primeiro corpo. A transmissão de calor pode ocorrer por condução, radiação e convecção (LAMBERTS et al., 2000).

Como já dito, a verificação do desempenho térmico de qualquer edificação pode ser realizada após a edificação ser construída com medições no local, por meio de avaliação de variantes importantes no desempenho térmico, ou ser desempenhada na fase de projeto da edificação, avaliando-se os requisitos mínimos requeridos pela NBR 15.575 (ABNT, 2013).

Resistência térmica representa a aptidão de um corpo de oferecer resistência à passagem de calor, isto é, a capacidade de isolar o calor. É o inverso de transmitância térmica, que é a aptidão de um corpo de propagar calor através dele mesmo, segundo a NBR 15.220 (ABNT, 2005).

Capacidade térmica exprime a quantidade de calor necessária aplicada a um corpo para que este varie em uma unidade a quantidade de calor. Atraso térmico configura o tempo levado para uma variação térmica manifestar-se na face oposta, sendo a face de lado oposto, exposta à transmissão de calor fixa, conforme descreve a NBR 15.220 (ABNT, 2005).

Conforto térmico é, afinal, a satisfação dos seres humanos no que tange a temperatura de qualquer ambiente (LAMBERTS et al., 2000). Dentre as formas conhecidas de manter o ambiente confortável termicamente sem utilização de climatização artificial destaca-se a ventilação natural dos ambientes. Tal ventilação não só permite que o cômodo fique confortável, como realiza a manutenção da salubridade dos ambientes e por consequência, reduz o consumo energético (LAMBERTS et al., 1997).

Porém, para realizar efetivamente a ventilação natural é preciso utilizar-se de técnicas

diferentes das usuais. Entre elas os *sheds*, que são aberturas na cobertura que servem para retirar o ar quente da edificação ou para direcionar ar resfriado para dentro. Além disso, os *sheds* servem como entrada de iluminação natural (RAMOS et al., 2017).

No estudo, realizado por Ramos e outros pesquisadores, apresenta-se a importância da geometria dos *sheds* na ventilação natural e também compara *sheds* extratores e captosres. Para analisar a influência utilizou-se o ensaio de mesa d'água. O resultado apresentou eficácia maior dos *sheds* extratores do que os captosres, sendo que os extratores realizam maior recirculação do ar e reduzem as zonas de calmaria. A geometria teve influência maior nos *sheds* captosres, sendo que não há muita diferença para os *sheds* extratores (RAMOS et al., 2017).

Além da ventilação natural, afetam o conforto térmico outros fatores como entorno e clima. O entorno da edificação construída influi muito para o desempenho térmico da mesma, pois, pode obstruir a passagem de vento, luz e calor. A presença de vegetação, outros edifícios ou ausência dos mesmos pode alterar as especificações do projeto, precisando modificá-lo conforme a necessidade observada (RIZZO et al., 2017).

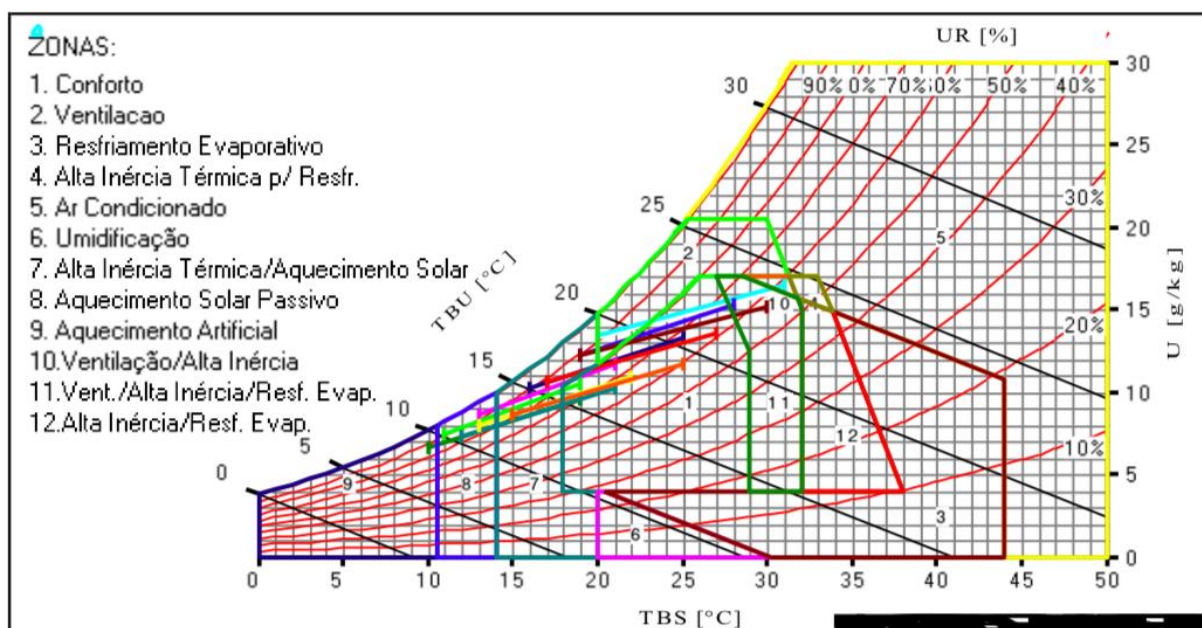
Em estudo aplicado em Maringá, no Paraná, observou-se três salas de aula com diferentes características de entorno analisando o desempenho térmico das mesmas no verão e no inverno por medição de temperatura dentro e por questionário aos usuários. A pesquisa objetivou verificar o nível de atuação do entorno da edificação na qualidade térmica dos ambientes. Obteve-se como resultado que a sala com menos vegetação e blocos em seu entorno teve menores índices de conforto. Segundo os autores, tal resultado deve-se à desobstrução da penetração de luz na sala em questão, o que ocasiona maior temperatura no verão. Além disso, as salas que dispunham de proteção solar obtiveram os melhores índices de satisfação (RIZZO et al., 2017).

O clima atua diretamente no conforto térmico da edificação. Em locais onde o clima é quente, com baixa umidade do ar e pouco vento torna-se mais complicada a implantação de edifícios sem ventilação artificial. Nesses casos, a ventilação natural não é tão favorável, pois, não há incidência de ventos e a alteração de materiais nos revestimentos não é tão eficaz, pois, a noite é quente também (LÔBO, 2003).

Para a execução do estudo aplicar-se-á a carta bioclimática de Lajeado/RS desenvolvida pelos pesquisadores da região (SPINELLI et al., 2017). Segundo o estudo

realizado, cerca de 45,26% dos dias do ano não necessitam de alterações para melhorar o desempenho térmico, pois, o conforto é naturalmente atingido. A carta apresenta a predominância das características dos ventos em cada estação, além de apresentar outros dados históricos da meteorologia da cidade. Ainda, destaca-se que, segundo os autores, não há necessidade de uso de ar condicionado e baixo percentual de aquecimento artificial durante o ano todo, sendo que as duas formas são amplamente utilizadas atualmente na região. Isso ilustra a falta de preocupação com a utilização de estratégias para contribuir com o conforto térmico dos ambientes. Atualmente poucos projetos consideram estudos preliminares do clima local e também por causa disso acabam tornando os edifícios pouco sustentáveis, consumindo muita energia para climatização (SPINELLI et al., 2017). A Figura 6 ilustra a carta bioclimática de Lajeado.

Figura 6 – Carta bioclimática de Lajeado



Fonte: Spinelli et al. (2017).

Outro item influente para manter o ambiente confortável termicamente são os materiais utilizados nos fechamentos como paredes, piso, teto, janelas e portas. Sugere-se utilização de materiais alternativos que possuam bom isolamento (BRÁS et al., 2012).

2.5 Materiais sustentáveis

Como visto, há possibilidade de tornar o ambiente confortável termicamente sem

utilização de climatização artificial, porém, necessita, na generalidade, do uso de algum artifício construtivo para fazê-lo (SPINELLI et al., 2017). Uma opção com custo reduzido e, principalmente, grande ganho ambiental é a utilização de materiais sustentáveis nos fechamentos verticais e horizontais (ASDRUBALI, 2015).

O conceito de material sustentável tem diversas formas de ser empregada, mas basicamente quer dizer que o ciclo do material tenha pouco ou qualquer impacto negativo ao meio ambiente. Tal ciclo de vida pode provocar menor impacto por ser reciclável ou reutilizável, aumentando consequentemente o seu ciclo (ASDRUBALI, 2015).

As pesquisas por materiais de cunho sustentável surgiram pela grande perda ambiental causada por produtos provenientes de petróleo e outros materiais sintéticos poluentes. Apesar de haver muitas pesquisas relacionadas à utilização de materiais naturais na construção e dos benefícios desse uso, o uso efetivo em construções tem índice quase nulo devido principalmente à resistência dos consumidores finais e da disponibilidade das construtoras e das lojas de materiais de construção (ARAÚJO, 2008).

Em Portugal foi testado a incorporação de cortiça na argamassa de revestimento das paredes para melhora do desempenho térmico do mesmo, uma forma de pensar diferente da maioria dos autores. Os autores realizaram testes de compatibilidade entre cortiça e argamassa, de trabalhabilidade e de transmissão térmica. O resultado foi positivo, concluindo que a cortiça pode ser incorporada normalmente na argamassa de revestimento, restringindo a trabalhabilidade da argamassa e limitando a condutividade térmica do revestimento. A falta de trabalhabilidade pode ser contornada facilmente (BRÁS et al., 2012).

Pesquisadores da Bielorrússia e Portugal investigaram a incorporação de musgo *Esfagno*, utilizando-o como agregado em painéis de isolamento térmico. Desenvolveu-se placas com composições diferentes de musgo, cana e palha aglutinados com vidro líquido para ensaiar a condutividade térmica, a resistência à compressão e à flexão. As tabelas indicam a condutividade térmica de cada composição e mostram que a mesma cai com o aumento de *Esfagno*. Entretanto, em conjunto com a condutividade térmica, a resistência à compressão e à flexão também cai, necessitando encontrar um ponto de equilíbrio para o uso. O Quadro 3 e o Quadro 4 representam os resultados de cada composição apresentada no estudo (ALIAKSANDR et al., 2018).

Quadro 3 – Características das composições de musgo e cana

Nº do provete	Composição da mistura (g)				Massa volúmica (kg/m³)	Condutibilidade térmica W/(m.°C)	Proporção musgo:cana (%)	Dimensões do provete (cm)
	Musgo	Cana	Vidro Líquido	Água				
2.1	110	110	400	100	228	0,068	50:50	25x24,9x3
2.2	132	88		115	231	0,059	60:40	24,8x24,8x3
2.3	154	66		130	234	0,054	70:30	24,6x24,6x3
2.4	176	44		145	235	0,050	80:20	24,5x24,4x3
2.5	110	110	300	75	194	0,060	50:50	24,9x24,8x3
2.6	132	88		90	195	0,053	60:40	24,8x24,7x3
2.7	154	66		105	198	0,049	70:30	24,6x24,5x3
2.8	176	44		130	200	0,045	80:20	24,4x24,4x3
2.9	110	110	200	75	160	0,053	50:50	24,7x24,7x3
2.10	132	88		90	163	0,047	60:40	24,7x24,6x3
2.11	154	66		105	165	0,044	70:30	24,5x24,3x3
2.12	176	44		130	166	0,041	80:20	24,3x24,3x3

Fonte: Aliaksandr et al. (2018).

Quadro 4 – Características das composições de musgo e palha

Nº do provete	Composição da mistura (g)				Massa volúmica (kg/m³)	Condutibilidade térmica W/(m.°C)	Proporção musgo:cana (%)	Dimensões do provete (cm)
	Musgo	Cana	Vidro Líquido	Água				
3.1	110	110	400	100	225	0,063	50:50	25x25x3
3.2	132	88		115	226	0,058	60:40	25x25x3
3.3	154	66		130	227	0,054	70:30	25x25x3
3.4	176	44		145	226	0,051	80:20	25x25x3
3.5	110	110	300	75	191	0,056	50:50	25x25x3
3.6	132	88		90	192	0,050	60:40	25x25x3
3.7	154	66		105	190	0,046	70:30	25x25x3
3.8	176	44		130	191	0,043	80:20	24,8x24,8x3
3.9	110	110	200	75	157	0,049	50:50	25x25x3
3.10	132	88		90	156	0,044	60:40	25x25x3
3.11	154	66		105	155	0,040	70:30	24,8x24,8x3
3.12	176	44		130	156	0,037	80:20	24,7x24,6x3

Fonte: Aliaksandr et al. (2018).

2.6 Materiais reciclados

As obras de construção civil geram uma quantidade grande de resíduos de construção

e de demolição (intitulados de RCDs) e geralmente são descartados de forma incorreta, ocasionando perturbações ao meio ambiente e ao ser humano. O despejo em rios, terrenos de agricultura ou em beira de estradas de produtos contaminantes causam desequilíbrio no ecossistema (DE OLIVEIRA et al., 2008).

O aumento da industrialização e o desenvolvimento ampliaram a produção de resíduos e aliado ao fato de áreas para deposição de tais resíduos serem escassas fazem com que cientistas e pesquisadores busquem formas de reciclar os resíduos dos mais variados segmentos como forma de atenuar tal problema. Também se cita que a preocupação com o esgotamento de matéria-prima e a necessidade de compensar o desequilíbrio econômico em países carentes de matéria-prima são motivos que tem incentivado pesquisadores e cientistas a pesquisar mais sobre o reuso de resíduos na construção civil (GARLET, 1998).

Analisando os proveitos do emprego de um sistema reciclado, pode-se notar que anteriormente aos anos 2000 o principal modo de produção era por meio de matérias-primas de origem natural e não renováveis, pois, havia abundância de recursos naturais e poucos no mercado consumista, porém, esse modelo começa a mostrar defeitos a partir de então pelo aumento do mercado que consome tais bens e pela redução significativa dos recursos naturais (ÂNGULO et al., 2001). Além do problema do esgotamento de recursos naturais, pode-se citar o fim da procura por áreas de deposição de resíduos de construção gerados nas obras.

A reciclagem a fim de não deposição de resíduos é imprescindível para a qualidade do ambiente, não apenas pelo perigo de contaminação ambiental como também pela possível minimização do consumo de energia e recursos naturais não renováveis retirados (LUCAS et al., 2008). Com a reciclagem e outros sistemas favoráveis ao meio ambiente é possível viabilizar um desenvolvimento sustentável.

Conforme NBR 10.004, RCDs são classificados na classe III, chamados de resíduos inertes, isto é, não reagem quimicamente com outros materiais apesar de conter elementos minerais (ABNT, 1987). Isso mostra que quimicamente os resíduos não sofrem perigo nenhum de interagir negativamente com outros materiais empregados no concreto novo.

O proveito de agregados reciclados na composição do concreto é até agora o melhor uso dos resíduos reciclados pelas empresas cimenteiras. As pesquisas sobre o uso de agregados reciclados em concreto mostram uma ótima resposta quando submetidos a critérios de resistência mecânica e de durabilidade. Estudo apresentado por Vieira e Dal Molin mostra

uma série de figuras e números de diferentes pesquisas que leva a conclusão que dependendo da relação água/cimento e a porcentagem de agregado graúdo ou miúdo reciclado utilizado, o concreto com tais agregados torna-se mais resistente à compressão do que concretos com agregados naturais. Sob a perspectiva de durabilidade é concebível afirmar que o emprego de agregados reciclados é acessível, considerado que a alternância com os agregados naturais é baixa, positiva e negativamente, dependendo o caso (VIEIRA et al., 2004).

Existe abundante número de materiais com potencial de reciclagem para emprego no concreto que não são ofertados e aproveitados pelo mercado. Pode-se citar as borrachas, amplamente utilizadas no Japão em função de abalos sísmicos. Entretanto, tais materiais devem ser pesquisados e devidamente testados para que não ocorram eventuais catástrofes (KAMIMURA, 2002).

Um material que poderia ser utilizado e que seria de enorme benefício ambiental, pela sua ampla utilização na construção civil, é a areia. Em um estudo promovido por Engenheiros Civis de Belém do Pará, foram utilizados para comparação de resultados três grupos de análise. O primeiro grupo de análise era o traço de referência, isto é, toda a areia era nova, nenhuma porcentagem sendo reciclada. O segundo traço contava com 30% de areia reciclada e o terceiro com 50%. Com o cimento fresco, a análise de consistência notou-se que quanto maior o percentual de agregado reciclado maior o fator água/aglomerante necessária para melhor aderência em função da finura dos agregados. Ainda fresco, o cimento apresentou menor incorporação de ar com agregados reciclados, mas é considerado satisfatório por não influenciar na coesão e nem na plasticidade. Nos testes mais importantes, que é com o cimento em estado endurecido, os testes de compressão revelaram que as argamassas elaboradas com agregados reciclados possuíam maior resistência que a argamassa de referência, se mostrando superiores na compressão axial e diametral. No teste de resistência de aderência à tração, a argamassa com 50% de agregado reciclado esteve um pouco abaixo dos outros dois traços, porém, dentro das normas técnicas de desempenho. Concluiu-se em tal trabalho que é possível utilizar agregados miúdos reciclados, mas há a necessidade de contínuo estudo para que de forma segura sejam utilizados. (DE ASSUNÇÃO et al., 2007).

Os RCDs são materiais muito variados, mas também podem ser utilizados na substituição de agregados se não tiverem contaminantes em sua composição. A lavagem desses resíduos antes de a sua aplicação é fundamental para reduzir a absorção de água quando inseridos na mistura. Os testes de compressão simples do concreto e de resistência de

aderência ao aço nervurado expressaram que com acréscimo do percentual de agregado reciclado sucede um decréscimo da resistência à compressão o simples. Além do mais os pesquisadores chegaram à conclusão que o acréscimo de agregado reciclado de RCDs acarreta um decréscimo na resistência de aderência aço-concreto. O motivo para esse decréscimo é que estes materiais reciclados possuem materiais expansivos em sua composição que preenchem os vazios, mas não possuem resistência à tração e quando a barra é tracionada não consegue evitar o deslizamento. Concluiu-se que o percentual de agregados reciclados não deve passar de 20% para concretos de 25 Mpa de resistência de projeto (DE OLIVEIRA et al., 2008).

Diferente de outros trabalhos, que analisaram anteriormente a resistência a compressão dos RCDs e demais propriedades físicas, este estudo apresentado por Vieira resolveu analisar também a corrosão do aço com o proveito de agregados reciclados. Constatou-se que o potencial de corrosão do aço diminuiu com o aumento de percentual substituído de agregado miúdo reciclado, entretanto, as taxas de corrosão em função do efeito da interação entre idade e potencial de corrosão provaram que os dados de potencial de corrosão são meramente qualitativos. Há a necessidade de aplicar outros parâmetros em grupo com o potencial de corrosão para avaliar a corrosão de armaduras. Em concretos onde a dosagem de agregados miúdos e graúdos reciclados não apresentaram alto percentual, a resistência ao ataque de cloretos obteve bom desempenho. A molhagem prévia dos agregados reciclados demonstrou ser muito satisfatória para a melhora da moldagem e no desempenho dos concretos (VIEIRA, 2003).

Em outro estudo encontrou-se resultados para os ensaios de granulometria por sedimentação, cisalhamento direto e CBR. Os pesquisadores chegaram a conclusão que é viável aplicar agregados reciclados de RCD em projetos de pavimentação na sub-base, uma vez que todos os requisitos solicitados pelas normas técnicas correntes foram atendidos. Para a aplicação é um material de baixo custo e resistente, viabilizando a utilização pelas empresas (SIQUEIRA et al., 2006).

2.7 Slimstone composite

O *slimstone* é um produto desenvolvido pela empresa Slimstone, de Bento Gonçalves/RS, que possui composição de uma chapa de pedra, geralmente mármore ou granito, de 5 mm de espessura, e uma camada de composite colado com laminado especial

para o mesmo, totalizando 20 mm de espessura de placa (KUAMOTO, 2014).

A placa utiliza composite com formato geométrico *honeycomb* que possuem geometria semelhante a favos de mel. Esse composite é formado de polipropileno, sendo um diferencial em relação à maioria dos *honeycombs* encontrados, que geralmente são formados por alumínio ou fibra de vidro. Este formato permite economia de produto e leveza do produto final, além de reduzir o custo de produção (PAZETO, 2017).

O material é usado em móveis e decorações e no momento de dimensionamento dos mesmos há um corte, de forma que os resíduos provenientes são descartados para aterro sanitário.

O processo de fabricação do slimstone composite é bastante criterioso. Chapas de pedra (que posteriormente serão parte do slimstone composite), geralmente granito e mármore, com espessura entre 1 e 2 cm são compradas de terceiros. Antes do corte longitudinal, são fixadas, nas duas superfícies externas das pedras, uma camada de composite (polipropileno), em formato *honeycombs*, colado com laminado especial, formando um material sanduíche. Após o processo de colagem, o material sofre corte longitudinal exatamente no meio da pedra, formando 2 placas de slimstone composite. O corte é efetuado por correias diamantadas e tal corte pode demorar entre 6 e 36 horas, dependendo do tipo de pedra cortada. Após as placas de slimstone passarem pelo processo de limpeza e polimento elas são cortadas nas dimensões encomendadas pelo cliente. Os resíduos deste processo final, atualmente são depositados em aterros sanitários e são a partir destes resíduos que será desenvolvida a pesquisa. A Figura 7 e a Figura 8 ilustram a placa de slimstone.

Figura 7 – Composição da placa de slimstone



Fonte: Slimstone.

Figura 8 – Placa de slimstone



Fonte: Do autor (2018).

As estruturas *honeycomb* podem ter diversas variações, mas todas tem matrizes formadas por células de forma hexagonal com interior vazio. Isso proporciona um produto com baixa densidade, grande rigidez e resistência ao cisalhamento e à flexão (WAHL et al., 2012).

Os materiais compósitos são materiais onde há a união de dois componentes a fim de alcançar um produto de maior qualidade. As vantagens dos materiais compósitos variam de acordo com os materiais que o compõe. Materiais compósitos com utilização de componentes naturais, por exemplo, tendem a ser mais leves e terem grande ganho ambiental. Outros materiais podem melhorar o desempenho térmico da edificação e outros o desempenho estrutural (VENTURA, 2009).

A reutilização do slimstone além de poder melhorar o conforto térmico da edificação gera ganho ambiental, pois, o plástico que seria descartado e levaria 400 anos para ser decomposto será reutilizado (BRITO et al., 2011).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo apresentará a metodologia que foi aplicada no teste experimental da pesquisa. Serão apresentados os procedimentos que foram realizados e os materiais aplicados nos protótipos, bem como os aparelhos que realizaram as medições dos parâmetros necessários.

O estudo foi embasado em normas, artigos, monografias, aprendizado em sala de aula, livros e dissertações com o objetivo de aprofundar o conhecimento sobre a necessidade do isolamento térmico para um projeto e como isso afeta à sustentabilidade do mesmo. Percebeu-se enorme preocupação por parte dos autores pesquisados com relação à sustentabilidade. Há uma ênfase por parte dos mesmos em torno da necessidade de se preocupar com a sustentabilidade no momento de projetar uma edificação.

Com ênfase em sustentabilidade o trabalho é válido, porque poderá servir como um novo material de isolamento térmico ao mesmo tempo que deixa de ser enviado para aterro sanitário.

Para comprovar a eficiência dos protótipos, foram realizadas medições de temperaturas externas e internas com sensores de temperatura e registradas por meio de *FieldLogger*. Foram respeitadas as normas de desempenho NBR 15.220 (2005) e NBR 15.575 (2013) para verificação dos parâmetros. Os testes foram realizados no prédio 17 da Universidade do Vale do Taquari – UNIVATES. As coordenadas do local são: 29°26'53.9"S 51°56'43.7"W.

O objetivo deste estudo é comprovar que o protótipo III possui condutividade térmica inferior aos protótipos convencionais, de forma a proporcionar o reaproveitamento de material

que seria descartado e otimizar a qualidade térmica das edificações. A Figura 9 mostra onde foram desenvolvidos os protótipos para os testes.

Figura 9 – Local onde foram desenvolvidos os protótipos



Fonte: Do autor (2018).

3.1 Pesquisa

O estudo tem como metodologia a pesquisa exploratória. A pesquisa exploratória visa fornecer mais assunto sobre o objeto de estudo e assume geralmente a forma de pesquisa bibliográfica. Pesquisa bibliográfica é a pesquisa construída em cima de material publicado, englobando todos os tipos de materiais científicos (PRODANOV et al., 2013). A metodologia de pesquisa bibliográfica ocorre em todas pesquisas e perpassa todos os momentos do trabalho acadêmico (CHEMIN, 2015).

Além da pesquisa exploratória, o estudo é comparativo, pois proporciona comparação de transmitância térmica entre três tipos diferentes de revestimento.

3.2 Confeção das placas de isolamento a partir do slimstone composite

Como já descrito nos itens anteriores, as placas do protótipo III foram compostas por uma camada de 2cm de resíduos de slimstone composite e duas camadas externas de 1cm de argamassa de revestimento, formando uma placa de isolamento térmico com dimensões 30cm x 4cm x 31,5cm. Vale ressaltar que o protótipo terá função específica de isolamento térmico, não havendo teste de resistência à compressão.

O primeiro passo foi recolher os resíduos das placas de slimstone composite na empresa responsável pela fabricação em Bento Gonçalves/RS (29°12'03.9"S 51°31'05.4"W).

O material foi recolhido em visita efetuada dia 25/07/2018 e estava depositado em compartimento coberto para posterior envio ao aterro sanitário.

Após limpeza simples com água, os resíduos de maiores dimensões foram selecionados para realizar cortes necessários para que as placas obtivessem as medidas necessárias afim de respeitar o cobrimento de 1,5cm em cada lado da futura placa. Portanto os resíduos foram cortados, com auxílio de serra mármore, em placas de slimstone composite de 27cm x 28,5cm. Algumas placas não possuíam as dimensões mínimas e nestes casos foram unidos dois segmentos menores com intuito de formar uma placa com as medidas necessárias. A Figura 10 ilustra o processo de corte dos resíduos.

Figura 10 – Processo de corte dos resíduos



Fonte: Do autor (2018).

Novamente foi realizada a limpeza com água e posteriormente, para melhor aderência da argamassa, as placas foram envoltas com tela de fibra de vidro Profort fornecida pelo orientador. A Figura 11 ilustra placas envoltas com a tela de fibra de vidro.

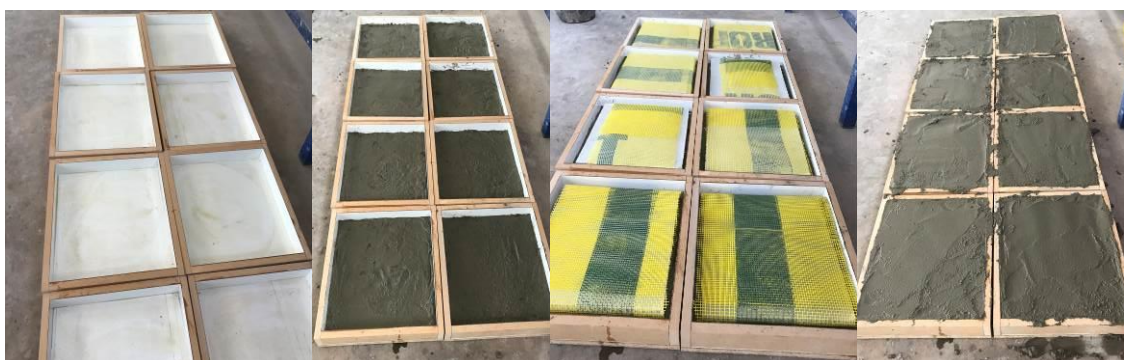
Figura 11 – Placas envoltas em tela de fibra de vidro



Fonte: Do autor (2018).

Em seguida, foram fabricadas as placas de isolamento. Iniciou-se produzindo a argamassa de cimento CP IV e areia média com traço 1:2. Passou-se desmoldante nos 8 moldes de madeira com dimensões das placas finais e aplicou-se camada de 1cm de argamassa na base. Inserir-se as placas de slimstone composite cortadas e envoltas em tela de fibra de vidro e posteriormente foram completados os moldes com argamassa. Possuindo 8 moldes foi necessário realizar o processo duas vezes para obter as 16 placas necessárias. A Figura 12 demonstra o processo de fabricação das placas de isolamento térmico.

Figura 12 – Fabricação das placas de isolamento térmico



Fonte: Do autor (2018).

O desmolde ocorreu após 3 dias e as placas de isolamento foram curadas na câmara de cura úmida da UNIVATES, conforme Figura 13. As placas tiveram massa média de 5,200 kg. O processo de fabricação das placas foi concluído dia 02/08/2018.

Figura 13 – Cura úmida das placas de isolamento



Fonte: Do autor (2018).

3.3 Elaboração dos protótipos

A elaboração dos protótipos foi, em primeiro momento, projetada com o *software* AutoCAD 2018, com as medidas que posteriormente foram utilizadas efetivamente na fabricação. Os protótipos têm mesmas dimensões, entretanto, o primeiro não possui nenhum isolamento térmico adicional, sendo com tijolo à vista, o segundo possui revestimento de reboco convencional e o terceiro isolamento de placas desenvolvidas a partir de slimstone composite.

Definiu-se os traços e medidas utilizadas na fabricação dos protótipos. A argamassa de assentamento foi fabricada com traço 1:2:5, com cimento CP IV, cal hidratada A3 e areia média, respectivamente. As lajes superior e inferior foram fabricadas com concreto traço 1:3:2, com cimento CP V-ARI, areia média e brita zero, respectivamente. A Figura 14 ilustra o desenvolvimento dos protótipos. Ressalta-se que a ventilação dentro dos protótipos é nula.

Figura 14 – Desenvolvimento dos protótipos I, II e III



Fonte: Do autor (2018).

O protótipo I foi desenvolvido de forma convencional, sem revestimento e cobertura do tipo sanduíche, simulando um edifício sem revestimento em escala reduzida. Foram aplicados os processos convencionais de construção com dimensões em planta quadrada, de

60cm x 60cm e elemento superior e inferior de 80cm x 80cm. A altura total foi de 74cm, sendo 5cm de elemento inferior, 64cm de parede e 5cm de elemento superior.

Para a construção foram utilizados tijolos cerâmicos maciços de 23cm x 11cm x 7cm e juntas de assentamento de aproximadamente 1cm. A estrutura de tijolos possui dimensões de 60cm x 60cm x 64cm. Os elementos, superior e inferior, foram constituídos de concreto maciço com dimensões de 80cm x 80cm x 5cm.

O protótipo II possui características e medidas idênticas ao protótipo I, porém, possui camada de revestimento externo ao tijolo de 2cm de espessura de reboco convencional de argamassa.

O protótipo III possui características e medidas idênticas ao protótipo I, mas possui revestimento com placas desenvolvidas a partir de slimstone composite, com 1cm de argamassa de revestimento de cada lado e 2cm de resíduos de slimstone entre tais camadas, como descrito no item 3.2. A Figura 15 ilustra os 3 protótipos desenvolvidos.

Figura 15 – Protótipos I, II e III



Fonte: Do autor (2018).

O processo de fabricação dos protótipos foi concluído dia 14/08/2018. Os mesmos foram desenvolvidos sem ventilação, para reproduzir eventos extremos.

3.4 Aparelhos de medição

Os aparelhos utilizados para obter os dados de análise foram sensores PT 100 e *datalogger* FieldLogger 512K. Os sensores foram acoplados nos protótipos para realizar a medição das temperaturas internas e externas, enquanto o *datalogger* armazena os dados

coletados pelos sensores para posterior análise dos dados em computador. Com os dados obtidos, é possível analisar a diferença no desempenho térmico entre os três protótipos. A Figura 16 ilustra os aparelhos em uso. As aferições iniciaram dia 05/09/2018 e foram encerradas dia 13/11/2018.

Figura 16 – Aparelhos de medição em uso



Fonte: Do autor (2018).

3.5 Elementos gráficos

Com os dados obtidos nas leituras das temperaturas foi possível montar gráficos diários, comparando a temperatura interna dos protótipos, a temperatura externa e a radiação solar diária. Os dados de radiação solar obtidos são provenientes do banco de dados do Núcleo de Informações Hidrometeorológicas da UNIVATES. Os gráficos foram montados com auxílio do *software* Microsoft Excel.

Optou-se por analisar dias onde houve maiores temperaturas registradas, para que a diferença no estudo comparativo ficasse mais perceptível. Além disso, é necessário verificar a eficiência em dias mais quentes, pois, seriam nestes dias que a economia do consumo de energia seria maior.

Além dos gráficos, com o Microsoft Excel foi montada uma tabela simulando a transmitância térmica e o atraso térmico de cada protótipo a partir da condutividade térmica e das temperaturas obtidas em cada protótipo nos dias de temperaturas elevadas. A partir destes dados, é possível calcular a carga térmica de cada protótipo.

Primeiramente, através da equação 1, calculou-se a resistência térmica dos materiais para cada combinação de materiais que compõe as camadas das paredes e cobertura. A equação 1 leva em consideração a espessura dos materiais e a condutividade térmica dos mesmos, valores os quais foram obtidos na Tabela 2, apresentada abaixo. A resistência térmica da camada de ar presente na cobertura foi obtida por meio do Quadro 5.

$$R = \frac{L}{\lambda} \left(\frac{m^2 K}{W} \right) \quad (1)$$

onde:

L = espessura do fechamento (m)

λ = condutividade térmica (W/(m.K))

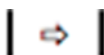


Tabela 2 – Propriedades térmicas dos materiais

Material	ρ (kg/m ³)	λ (W/(m.K))	c (kJ/(kg.K))
Argamassas			
argamassa comum	1800-2100	1,15	1,00
argamassa de gesso (ou cal e gesso)	1200	0,70	0,84
argamassa celular	600-1000	0,40	1,00
Cerâmica			
tijolos e telhas de barro	1000-1300	0,70	0,92
	1300-1600	0,90	0,92
	1600-1800	1,00	0,92
	1800-2000	1,05	0,92
Fibro-cimento			
placas de fibro-cimento	1800-2200	0,95	0,84
	1400-1800	0,65	0,84
Concreto (com agregados de pedra)			
concreto normal	2200-2400	1,75	1,00
concreto cavernoso	1700-2100	1,40	1,00

Fonte: ABNT, NBR 15.220 (2005).

A NBR 15.220 (2005) define a condutividade térmica da argamassa, concreto e tijolos cerâmicos maciços convencionais como 1,15 W/(m².K), 1,75 W/(m².K) e 0,90 W/(m².K), nesta ordem. A telha sanduíche possui condutividade térmica de 0,0186 W/(m².K), conforme catálogo do fabricante (ANANDA, 2014). A condutividade térmica do slimstone composite é de 0,063, conforme estudo realizado na Univates (BERTOTI, 2018, no prelo). Utiliza-se a NBR 15.220 (2005) para os cálculos na tabela de simulação térmica, descritos a seguir. Utilizou-se a temperatura de conforto de 24°C nos cálculos.

Quadro 5 – Resistência térmica de câmaras de ar não ventiladas

Natureza da superfície da câmara de ar	Espessura "e" da câmara de ar - cm	Resistência térmica do ar - m ² .K/W		
		Direção do gluxo de calor		
		Horizontal	Ascendente	Descendente
				
Superfície de alta emissividade $\epsilon > 0,8$	$1,0 \leq e \leq 2,0$	0,14	0,13	0,15
	$2,0 < e \leq 5,0$	0,16	0,14	0,18
	$e > 5,0$	0,17	0,14	0,21
Superfície de alta emissividade $\epsilon < 0,2$	$1,0 \leq e \leq 2,0$	0,29	0,23	0,29
	$2,0 < e \leq 5,0$	0,37	0,25	0,43
	$e > 5,0$	0,34	0,27	0,61
<p>Notas</p> <p>1 ϵ é a emissividade hemisférica total.</p> <p>2 Os valores para câmaras de ar com uma superfície refletora só podem ser usados se a emissividade da superfície for controlada e previsto que a superfície continue limpa, sem pó, gordura ou água de condensação.</p> <p>3 Para coberturas, recomenda-se a colocação da superfície refletora paralelamente ao plano das telhas (exemplo C.6 do anexo C); desta forma, garante-se que pelo menos uma das superfícies - a inferior - continuara limpa, sem poeira.</p> <p>4 Caso, no processo de cálculo, existam câmaras de ar com espessura inferior a 1,0 cm, pode-se utilizar o valor mínimo fornecido por esta tabela.</p>				

Fonte: ABNT, NBR 15.220 (2005).

Em seguida, por meio da equação 2, foi calculada a resistência térmica total de cada combinação, somando-se a resistência térmica dos materiais constituintes de cada elemento, incluindo as resistências superficiais internas e externas, obtidas no Quadro 6. Posteriormente calculou-se a transmitância térmica, através da equação 3, para cada uma das resistências térmicas totais.

$$R_T = R_{se} + R_1 + R_n + \dots + R_{si} \text{ (m}^2 \text{ K/W)} \quad (2)$$

onde:

R_{se} = resistência superficial externa ($m^2 K/W$)

R_{si} = resistência superficial interna ($m^2 K/W$)

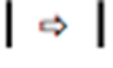
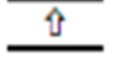
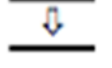
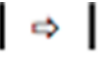
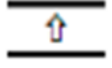
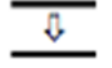
R_n = resistência térmica dos materiais ($m^2 K/W$)

$$U = \frac{1}{RT} \left(\frac{W}{m^2 K} \right) \quad (3)$$

onde:

R_T = resistência total ($m^2 K/W$)

Quadro 6 – Resistência térmica superficial interna e externa

Rsi ($m^2.K$)/W			Rse ($m^2.K$)/W		
Direção do gluxo de calor			Direção do gluxo de calor		
Horizontal	Ascendente	Descendente	Horizontal	Ascendente	Descendente
					
0,13	0,10	0,17	0,04	0,04	0,04

Fonte: ABNT, NBR 15.220 (2005).

Subsequentemente, calculou-se o fluxo térmico para as fachadas norte, sul, leste e oeste dos protótipos I, II e III, além do cálculo para a cobertura. O fluxo térmico foi calculado apenas para fechamentos opacos, por não possuir fechamentos transparentes. Os fechamentos foram calculados através da equação 4, a qual leva em consideração a transmitância térmica de cada componente, a absortividade da superfície externa do fechamento, valores os quais foram obtidos no Quadro 7, o índice de radiação solar esse encontrado no Quadro 8, sendo latitude 30° e utilizando data de dezembro, a resistência superficial externa, conforme Quadro 5, e a diferença de temperatura interna e externa. A temperatura interna foi estabelecida em 24°C , como a temperatura de conforto. A temperatura externa foi estudada de duas maneiras: com a temperatura mais alta obtida em todos os dias de análise; com a temperatura variando de hora em hora nos dias de maiores temperaturas, obtendo assim um gráfico de carga térmica em função da hora do dia.

$$q_{fo} = U(\alpha I R_{se} + t_e - t_i) \text{ (W/m}^2\text{)} \quad (4)$$

onde:

U = transmitância térmica (W/m²K)

α = absorptividade da superfície externa

I = índice de radiação solar (W/m²)

R_{se} = resistência superficial externa (m² K/W)

T_e = temperatura externa (°C)

T_i = temperatura interna (°C)

Quadro 7 – Tabela de absorptividade

Tipo de superfície		α
Chapa de alumínio (nova e brilhante)		0,05
Chapa de alumínio (oxidada)		0,15
Chapa de aço galvanizada (nova e brilhante)		0,25
Caiação nova		0,12 / 0,15
Concreto aparente		0,65 / 0,80
Telha de barro		0,75 / 0,80
Tijolo aparente		0,65 / 0,80
Reboco claro		0,30 / 0,50
Revestimento asfáltico		0,85 / 0,98
Vidro incolor		0,06 / 0,25
Vidro colorido		0,40 / 0,80
Vidro metalizado		0,35 / 0,80
Pintura:	Branca	0,20
	Amarela	0,30
	Verde clara	0,40
	"Alumínio"	0,40
	Verde escura	0,70
	Vermelha	0,74
	Preta	0,97

Fonte: Projeto de Norma da ABNT 02:135.07-002 (1998).

Quadro 8 – Índice de radiação solar

	06h	07h	08h	09h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	dezembro 22
S	142	188	143	78	63	68	65	68	63	78	143	188	142	
SE	330	563	586	502	345	116	65	68	63	58	50	43	25	
E	340	633	715	667	517	309	65	68	63	58	50	43	25	
NE	165	357	456	475	422	311	146	68	63	58	50	43	25	
N	25	43	50	58	117	170	179	170	117	58	50	43	25	
NW	25	43	50	58	63	68	146	311	422	475	456	357	165	
W	25	43	50	58	63	68	65	309	517	667	715	633	340	
SW	25	43	50	58	63	68	65	116	345	502	586	563	330	
H	114	345	588	804	985	1099	1134	1099	985	804	588	345	114	

S	0	28	45	50	58	63	63	63	58	50	45	28	0	março 22 / setembro 22
SE	16	270	351	261	101	63	63	63	58	50	45	28	0	
E	23	421	651	649	518	309	63	63	58	50	45	28	0	
NE	16	343	596	686	666	565	406	216	58	50	45	28	0	
N	0	80	219	347	458	526	548	526	458	347	219	80	0	
NW	0	28	45	50	58	216	406	565	666	686	596	343	16	
W	0	28	45	50	58	63	63	309	518	649	651	421	23	
SW	0	28	45	50	58	63	63	63	101	261	351	270	16	
H	0	144	388	617	808	928	964	928	808	617	388	144	0	

S	-	3	23	38	45	50	50	50	45	38	23	3	-	junho 21
SE	-	14	72	38	45	50	50	50	45	38	23	3	-	
E	-	35	278	429	387	244	50	50	45	38	23	3	-	
NE	-	37	333	602	682	641	524	364	198	48	23	3	-	
N	-	20	207	445	604	691	720	691	604	445	207	20	-	
NW	-	3	23	48	198	364	524	641	682	602	333	37	-	
W	-	3	23	38	45	50	50	244	387	429	278	35	-	
SW	-	3	23	38	45	50	50	50	45	38	23	3	-	
H	-	6	101	280	446	558	594	558	446	280	101	6	-	

Fonte: Frota et al. (2007).

Em seguida foi calculado o fluxo de calor para cada elemento da fachada, conforme equação 5, a qual considera o fluxo térmico e a área do elemento analisado. Por fim, calculou-se o fluxo total de calor, o qual compreende o somatório dos fluxos de calor dos fechamentos opacos para cada fachada e para cobertura, conforme equação 6.

$$Q_{f(opaco)} = \text{Área} \times q_{f(opaco)}(W) \quad (5)$$

onde:

Área = área do fechamento (m^2)

qf = fluxo de calor para cada elemento (W/m^2)

$$Q = \sum Q_{fo} \text{ (W)} \quad (6)$$

onde:

Q_{fo} = fluxos de calor dos fechamentos opacos (W)

O atraso térmico foi calculado de forma empírica, realizando a média de atraso térmico dos dias acima de $28^\circ C$ para determinar o atraso térmico em cada protótipo. Devido aos sensores realizar medições de hora em hora, optou-se por estimar por meio de projeção os horários de maior temperatura para o cálculo de atraso térmico. Portanto estimou-se o horário de maior temperatura ambiente e o de maior temperatura dentro dos protótipos. Obtém-se o atraso térmico, sendo a diferença de horário entre a maior temperatura ambiente e a maior temperatura de cada protótipo.

Após este processo, realiza-se a média de atraso térmico em cada protótipo para determinar o valor de atraso térmico e assim obter mais um dado de estudo.

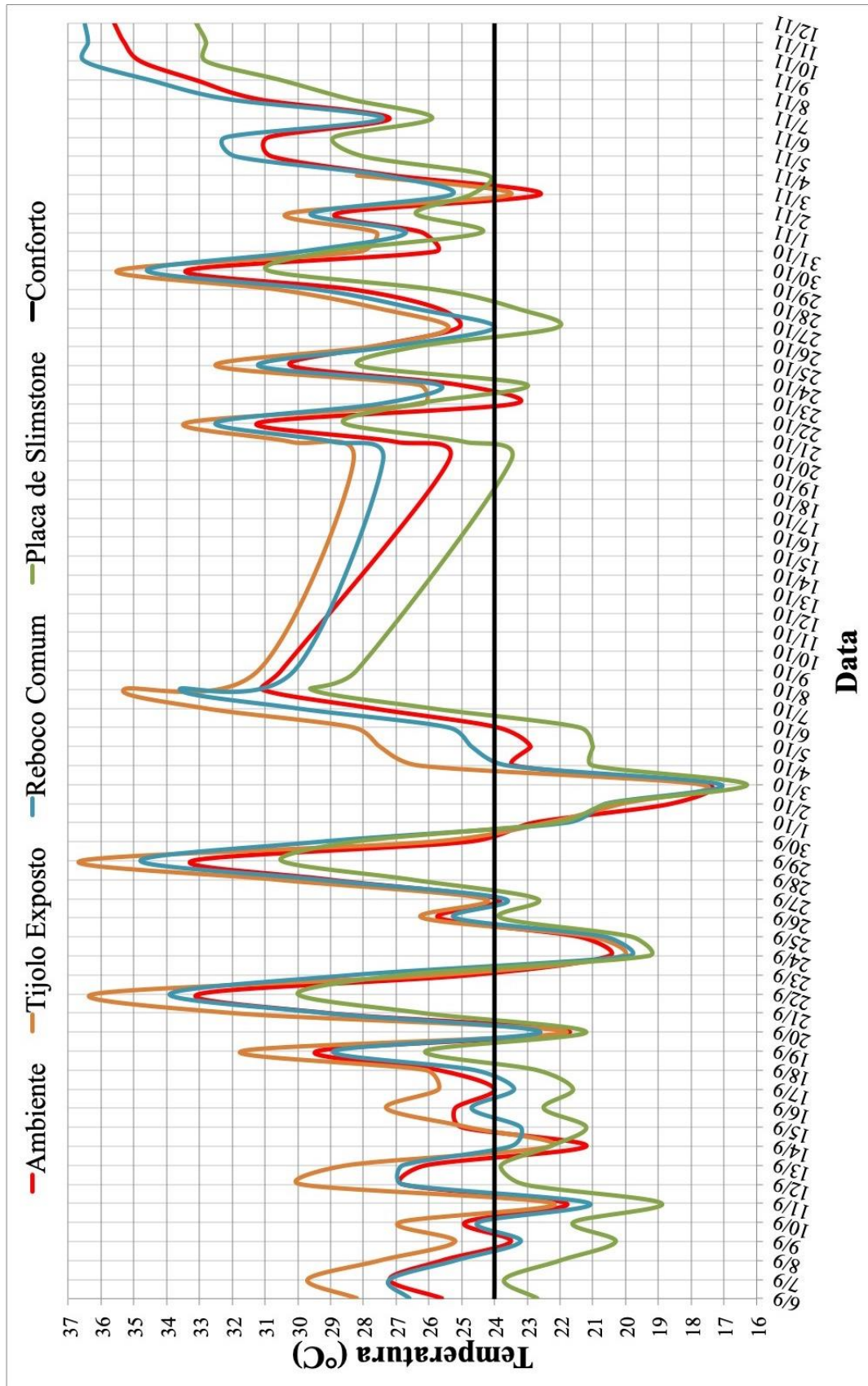
A última etapa de análise foi a de consumo de energia. Para tal, foi preciso alterar a escala, pois, como o protótipo é de tamanho reduzido, não forneceria dados para realizar tal comparação. Considerou-se, portanto, um cômodo de $3,00m \times 3,00m \times 2,60m$ como parâmetro, sendo nas mesmas condições dos protótipos. A partir das dimensões, calculou-se a carga térmica de cada protótipo, conforme os cálculos apresentados anteriormente. Calculou-se o custo da hora de carga térmica máxima e o custo mensal com carga térmica média, considerando uso por 18 horas por dia de aparelho condicionador de ar.

Os resultados de carga térmica são fornecidos em Watts. Converte-se a carga térmica para BTU/h e estima-se o consumo energético de aparelhos de climatização próximos aos valores encontrados na conversão. Utiliza-se o consumo energético e multiplica-se pelo custo da energia elétrica encontrado na última conta de luz da RGE. O valor encontrado é o custo de energia consumida por hora. Transforma-se em custo de energia consumida por mês multiplicando pela estimativa de utilização diária e multiplicando por 30 dias, total de dias em um mês.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo apresentará os resultados das aferições das temperaturas e as discussões referentes a tais resultados em comparação com as planilhas de simulação da transmitância térmica dos protótipos. O primeiro passo foi construir um gráfico contendo todos os dias de análise, observando apenas as temperaturas máximas em cada dia. Entre o dia 09/10/2018 e o dia 20/10/2018 houve uma falha no sensor do protótipo III, tendo perda de dados desses dias. A partir do dia 05/11/2018 houve falha no sensor do protótipo I, tendo perda de dados para esse protótipo desses dias. O gráfico 1 ilustra todos os dias de medição, mostrando a máxima de cada dia em graus Celsius. A linha de temperatura de conforto é ilustrada, para observação da eficiência dos protótipos.

Gráfico 1 – Temperatura máxima durante todo período de aferição



Fonte: Do autor (2018).

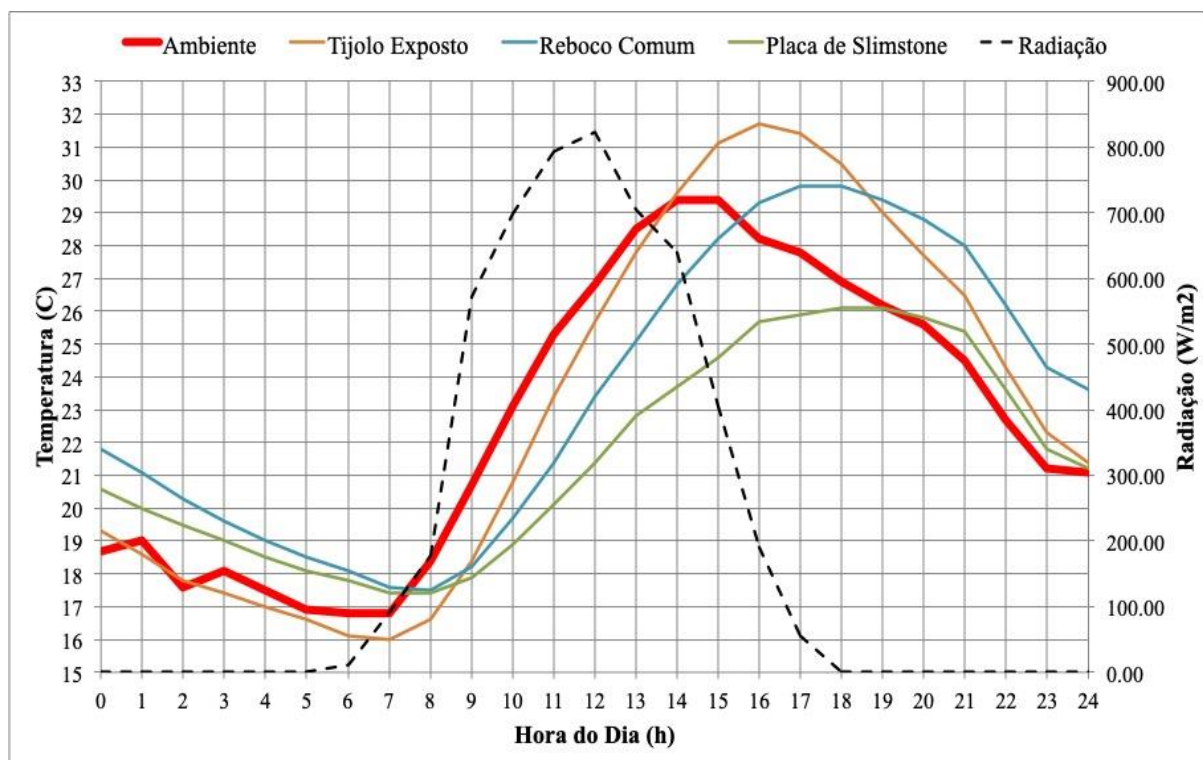
4.1 Comparativo de temperatura diária

Utilizando a metodologia apresentada no capítulo anterior foi possível, com auxílio do *software* Microsoft Excel, desenvolver gráficos comparativos entre os três protótipos construídos. Os gráficos a seguir são referentes aos dias 19/09/2018, 22/09/2018, 29/09/2018 e 22/10/2018, 30/10/2018, 09/11/2018, 10/11/2018, 11/11/2018 e 12/11/2018.

O Gráfico 2, a seguir, demonstra a variação das temperaturas internas dos protótipos e externa aos mesmos no dia 19/09/2018. Neste dia, a temperatura máxima ambiente (externa) foi de 29,40°C às 14:00 e a radiação neste momento era 639 W/m². A radiação máxima foi de 822 W/m² às 12:00, sendo a temperatura neste horário de 26,80°C. No momento de maior temperatura externa, os protótipos I, II e III tiveram, respectivamente, diferença de temperatura de +0,20°C, -2,60°C e -5,70°C com relação à externa. Percebe-se diferença de temperatura de 5,90°C entre os protótipos I e III e de 3,10°C entre os protótipos II e III.

Além disso, a temperatura máxima interna no protótipo I foi de 31,70°C às 16:00, no protótipo II foi de 29,80°C às 17:00 e no protótipo III foi de 26,10°C às 18:00. Estes resultados demonstram que o protótipo III teve a menor temperatura máxima interna, estando 3,70°C menor que o protótipo II e 5,60°C que o protótipo I. Também demonstra que o protótipo III possui o maior atraso térmico, ou seja, o protótipo que mais levou tempo para atingir a temperatura máxima interna. O gráfico demonstra enorme volatilidade de temperatura dentro do protótipo I, dificultando a obtenção da temperatura confortável. O protótipo II possui maior constância em suas temperaturas se comparado com o protótipo I, porém, o protótipo III foi o que demonstrou maior eficiência em manter a temperatura constante.

Gráfico 2 – Comparativo de temperaturas do dia 19/09/2018



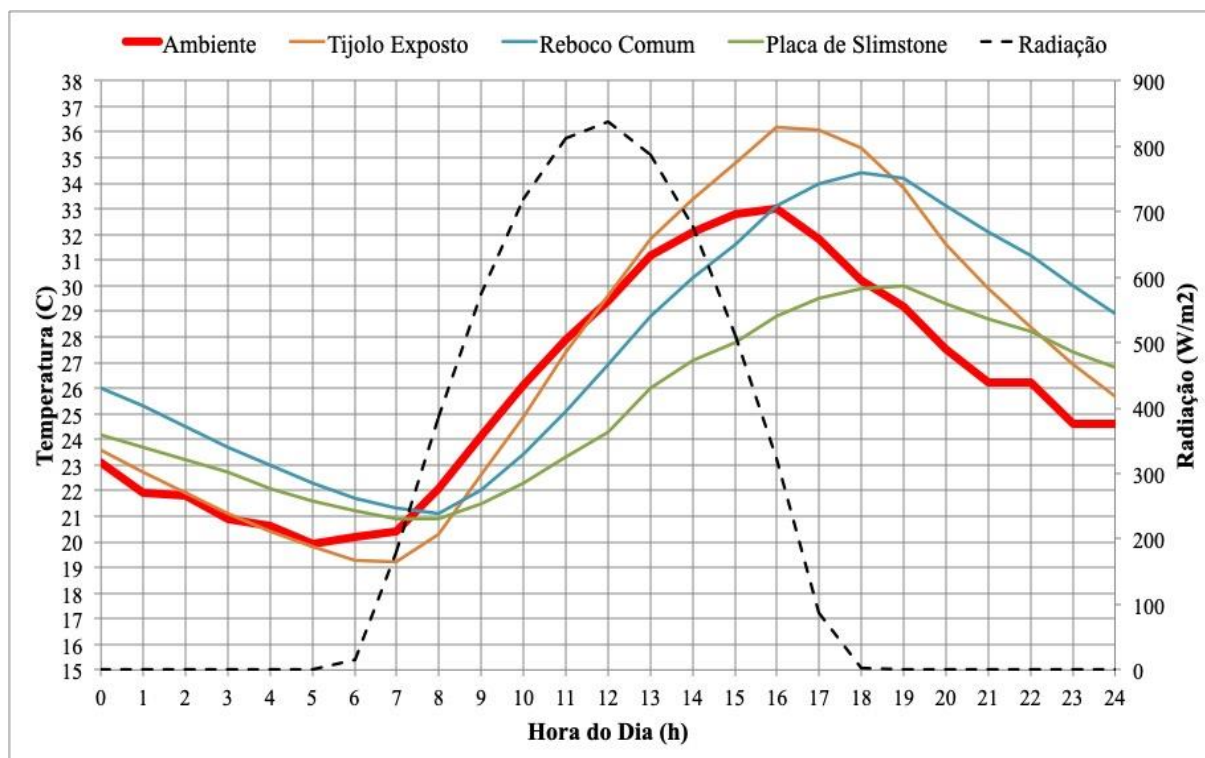
Fonte: Do autor (2018).

O Gráfico 3, a seguir, demonstra a variação das temperaturas internas dos protótipos e externa aos mesmos no dia 22/09/2018. Neste dia, a temperatura máxima ambiente (externa) foi de 33,00°C às 16:00 e a radiação neste momento era 323 W/m². A radiação máxima foi de 837 W/m² às 12:00, sendo a temperatura neste horário de 29,40°C. No momento de maior temperatura externa, os protótipos I, II e III tiveram, respectivamente, diferença de temperatura de +3,20°C, +0,10°C e -4,20°C com relação à externa. Percebe-se diferença de temperatura de 7,40°C entre os protótipos I e III e de 4,30°C entre os protótipos II e III.

Além disso, a temperatura máxima interna no protótipo I foi de 36,20°C às 16:00, no protótipo II foi de 34,40°C às 18:00 e no protótipo III foi de 30,00°C às 19:00. Estes resultados demonstram que o protótipo III teve a menor temperatura máxima interna, estando 4,40°C menor que o protótipo II e 6,20°C que o protótipo I. Também demonstra que o protótipo III possui o maior atraso térmico, ou seja, o protótipo que mais levou tempo para atingir a temperatura máxima interna. O gráfico demonstra, assim como o gráfico anterior, enorme volatilidade de temperatura dentro do protótipo I, dificultando a obtenção da temperatura confortável. O protótipo II possui maior constância em suas temperaturas se

comparado com o protótipo I, porém, o protótipo III foi o que demonstrou maior eficiência em manter a temperatura constante.

Gráfico 3 – Comparativo de temperaturas do dia 22/09/2018



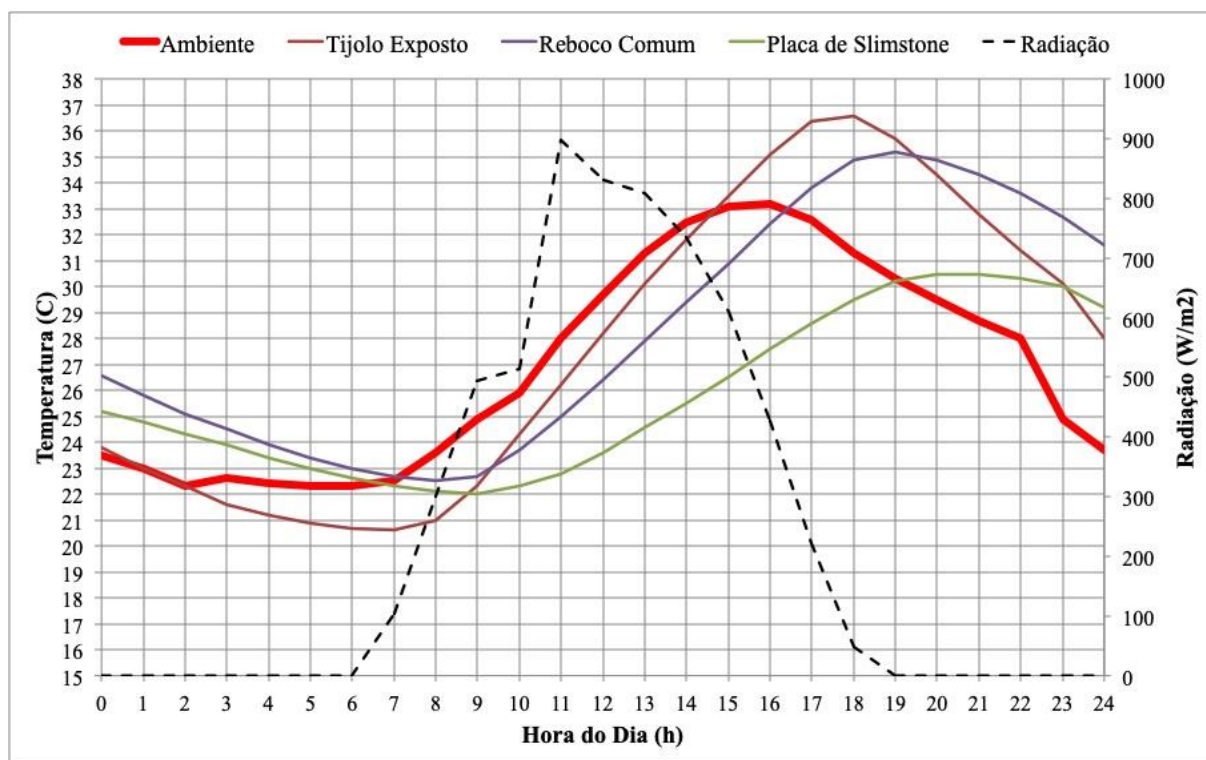
Fonte: Do autor (2018).

O Gráfico 4, a seguir, demonstra a variação das temperaturas internas dos protótipos e externa aos mesmos no dia 29/09/2018. Neste dia, a temperatura máxima ambiente (externa) foi de 33,20°C às 16:00 e a radiação neste momento era 428 W/m². A radiação máxima foi de 899 W/m² às 11:00, sendo a temperatura neste horário de 28,00°C. No momento de maior temperatura externa, os protótipos I, II e III tiveram, respectivamente, diferença de temperatura de +1,90°C, -0,80°C e -5,60°C com relação à externa. Percebe-se diferença de temperatura de 7,50°C entre os protótipos I e III e de 4,80°C entre os protótipos II e III.

Além disso, a temperatura máxima interna no protótipo I foi de 36,60°C às 18:00, no protótipo II foi de 35,20°C às 19:00 e no protótipo III foi de 30,50°C às 20:00. Estes resultados demonstram que o protótipo III teve a menor temperatura máxima interna, estando 4,70°C menor que o protótipo II e 6,10°C que o protótipo I. Também demonstra que o protótipo III possui o maior atraso térmico, ou seja, o protótipo que mais levou tempo para

atingir a temperatura máxima interna. O gráfico demonstra os mesmos resultados que os gráficos anteriores com relação a volatilidade das temperaturas.

Gráfico 4 – Comparativo de temperaturas do dia 29/09/2018



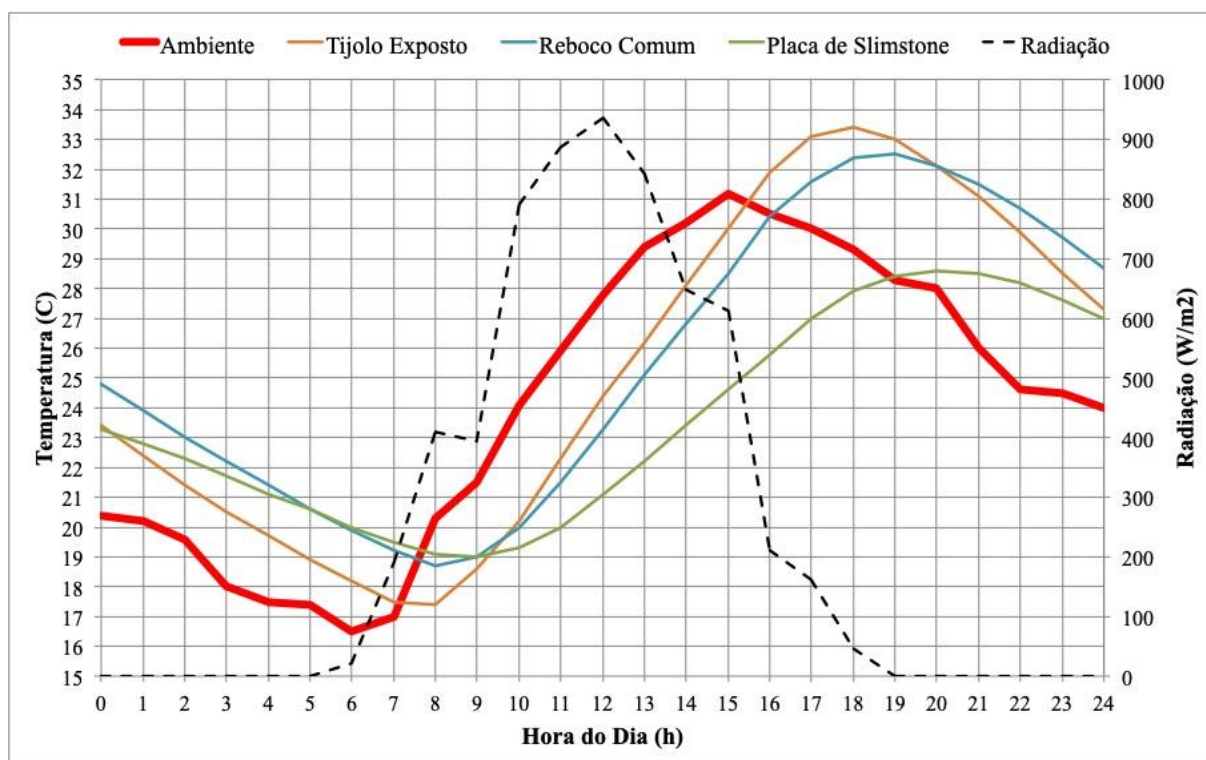
Fonte: Do autor (2018).

O Gráfico 5, a seguir, demonstra a variação das temperaturas internas dos protótipos e externa aos mesmos no dia 22/10/2018. Neste dia, a temperatura máxima ambiente (externa) foi de 31,20°C às 15:00 e a radiação neste momento era 613 W/m². A radiação máxima foi de 935 W/m² às 12:00, sendo a temperatura neste horário de 27,80°C. No momento de maior temperatura externa, os protótipos I, II e III tiveram, respectivamente, diferença de temperatura de -1,20°C, -2,70°C e -6,60°C com relação à externa. Percebe-se diferença de temperatura de 5,40°C entre os protótipos I e III e de 3,90°C entre os protótipos II e III.

Além disso, a temperatura máxima interna no protótipo I foi de 33,40°C às 18:00, no protótipo II foi de 32,50°C às 19:00 e no protótipo III foi de 28,60°C às 20:00. Estes resultados demonstram que o protótipo III teve a menor temperatura máxima interna, estando 3,90°C menor que o protótipo II e 4,80°C que o protótipo I. Também demonstra que o protótipo III possui o maior atraso térmico, ou seja, o protótipo que mais levou tempo para

atingir a temperatura máxima interna. O gráfico demonstra os mesmos resultados que os gráficos anteriores com relação a volatilidade das temperaturas.

Gráfico 5 – Comparativo de temperaturas do dia 22/10/2018



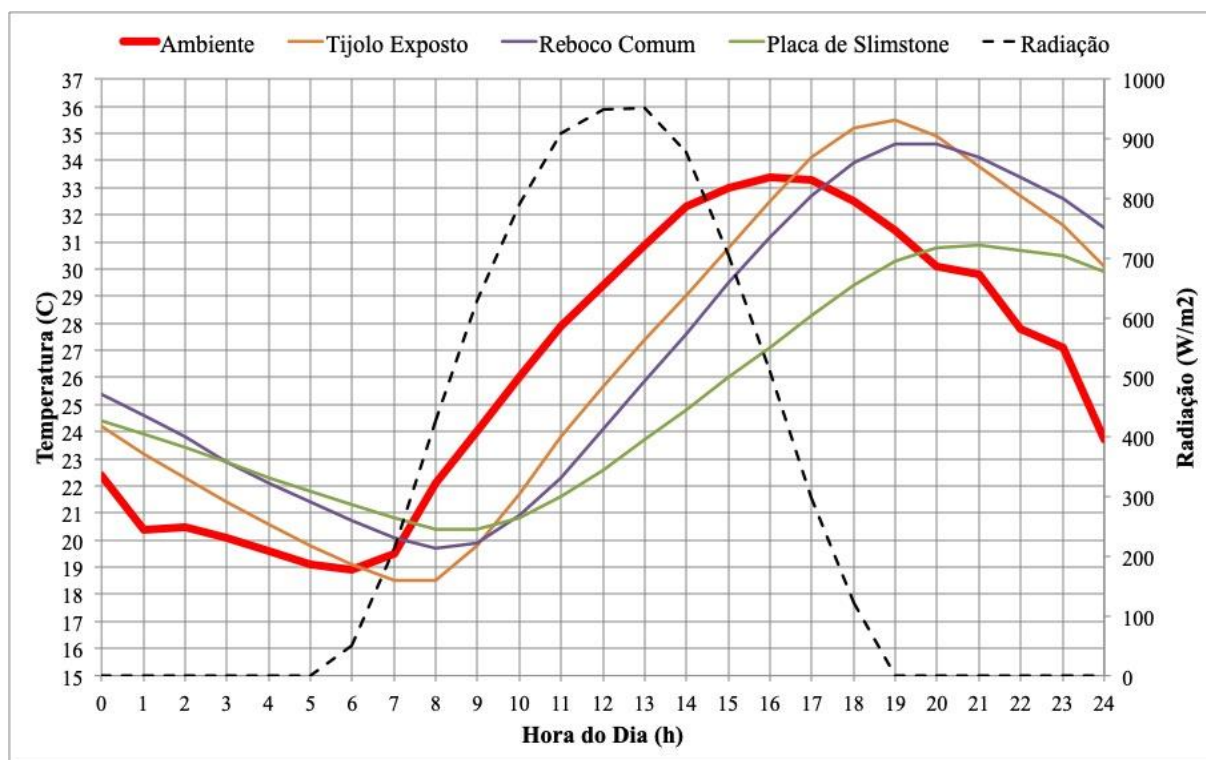
Fonte: Do autor (2018).

O Gráfico 6, a seguir, demonstra a variação das temperaturas internas dos protótipos e externa aos mesmos no dia 30/10/2018. Neste dia, a temperatura máxima ambiente (externa) foi de 33,40°C às 16:00 e a radiação neste momento era 510 W/m². A radiação máxima foi de 951 W/m² às 13:00, sendo a temperatura neste horário de 30,90°C. No momento de maior temperatura externa, os protótipos I, II e III tiveram, respectivamente, diferença de temperatura de -0,90°C, -2,20°C e -6,30°C com relação à externa. Percebe-se diferença de temperatura de 5,40°C entre os protótipos I e III e de 4,10°C entre os protótipos II e III.

Além disso, a temperatura máxima interna no protótipo I foi de 35,50°C às 19:00, no protótipo II foi de 34,60°C às 20:00 e no protótipo III foi de 30,90°C às 21:00. Estes resultados demonstram que o protótipo III teve a menor temperatura máxima interna, estando 3,70°C menor que o protótipo II e 4,60°C que o protótipo I. Também demonstra que o protótipo III possui o maior atraso térmico, ou seja, o protótipo que mais levou tempo para

atingir a temperatura máxima interna. O gráfico demonstra os mesmos resultados que os gráficos anteriores com relação a volatilidade das temperaturas.

Gráfico 6 – Comparativo de temperaturas do dia 30/10/2018



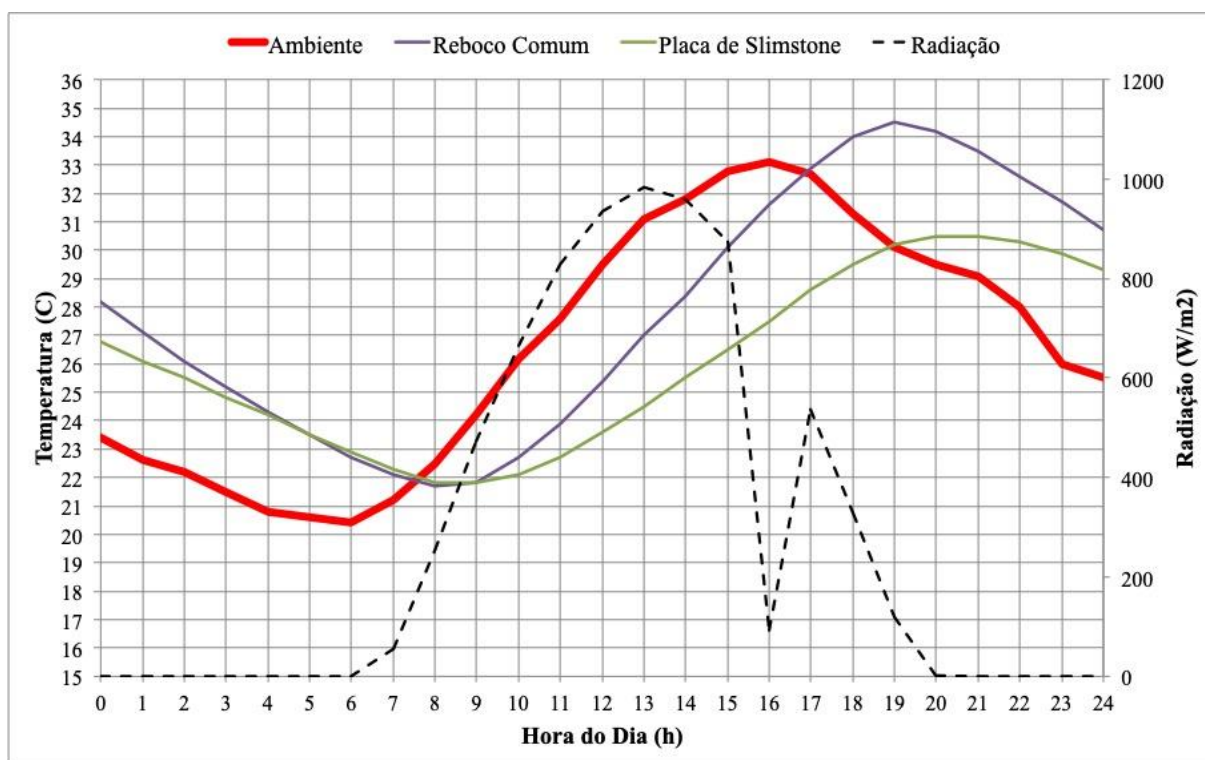
Fonte: Do autor (2018).

Após o dia 05/11/2018, houve um problema técnico no aparelho de registro, sendo que a temperatura interna no protótipo I não teve registro a partir do dia citado. Desta forma, o protótipo I ficou fora dos gráficos dos dias posteriores ao dia 05/11/2018.

O Gráfico 7, a seguir, demonstra a variação das temperaturas internas dos protótipos e externa aos mesmos no dia 09/11/2018. Neste dia, a temperatura máxima ambiente (externa) foi de 33,10°C às 16:00 e a radiação neste momento era 94 W/m², porém percebe-se que a tendência da curva registraria outro valor (em torno de 700), havendo assim, erro no registro de radiação solar nesse momento. A radiação máxima foi de 984 W/m² às 13:00, sendo a temperatura neste horário de 31,10°C. No momento de maior temperatura externa, os protótipos II e III tiveram, respectivamente, diferença de temperatura de -1,50°C e -5,60°C com relação à externa. Percebe-se diferença de temperatura de 4,10°C entre os protótipos II e III.

Além disso, a temperatura máxima interna no protótipo II foi de 34,50°C às 19:00 e no protótipo III foi de 30,50°C às 21:00. Estes resultados demonstram que o protótipo III teve a menor temperatura máxima interna, estando 4,00°C menor que o protótipo II. Também demonstra que o protótipo III possui o maior atraso térmico, ou seja, o protótipo que mais levou tempo para atingir a temperatura máxima interna. O gráfico demonstra que o protótipo II possui maior volatilidade da temperatura durante o dia.

Gráfico 7 – Comparativo de temperaturas do dia 09/11/2018



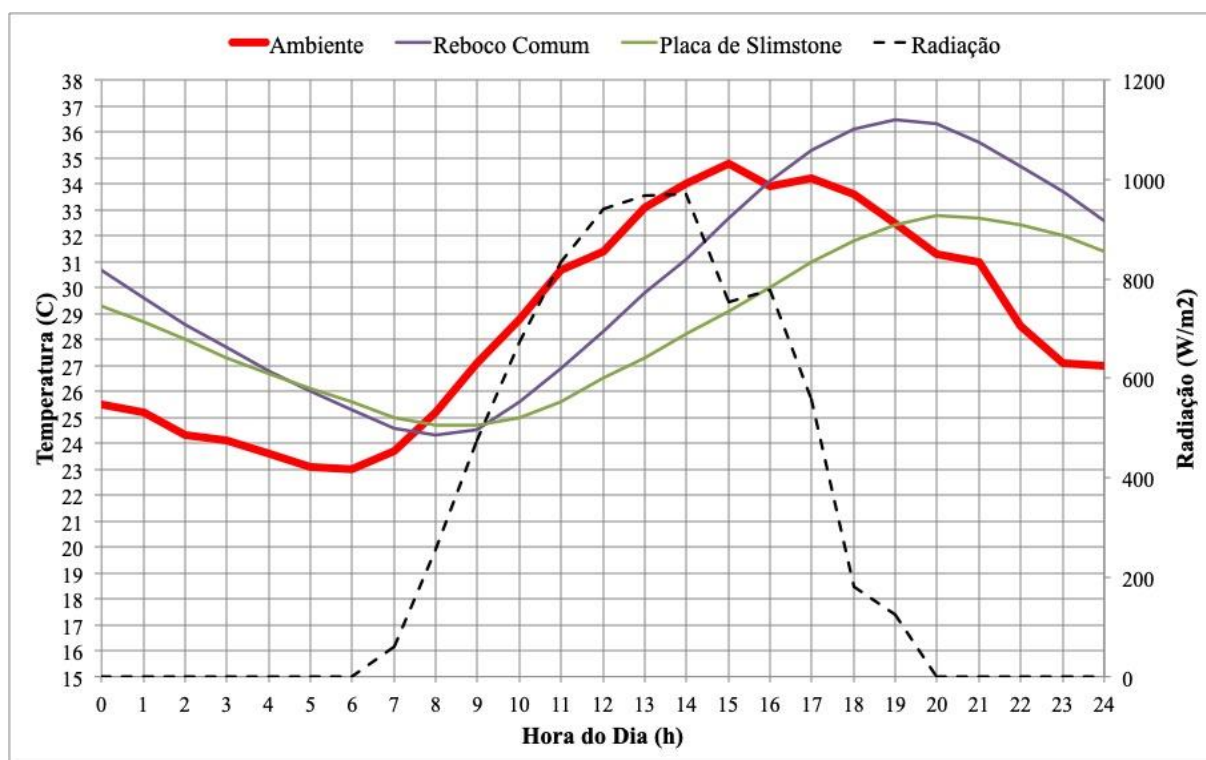
Fonte: Do autor (2018).

O Gráfico 8, a seguir, demonstra a variação das temperaturas internas dos protótipos e externa aos mesmos no dia 10/11/2018. Neste dia, a temperatura máxima ambiente (externa) foi de 34,80°C às 15:00 e a radiação neste momento era 754 W/m². A radiação máxima foi de 970 W/m² às 14:00, sendo a temperatura neste horário de 34,00°C. No momento de maior temperatura externa, os protótipos II e III tiveram, respectivamente, diferença de temperatura de -2,10°C e -5,70°C com relação à externa. Percebe-se diferença de temperatura de 3,60°C entre os protótipos II e III.

Além disso, a temperatura máxima interna no protótipo II foi de 36,50°C às 19:00 e no protótipo III foi de 32,80°C às 20:00. Estes resultados demonstram que o protótipo III teve a

menor temperatura máxima interna, estando $3,70^{\circ}\text{C}$ menor que o protótipo II. Também demonstra que o protótipo III possui o maior atraso térmico, ou seja, o protótipo que mais levou tempo para atingir a temperatura máxima interna. O gráfico demonstra os mesmos resultados que o gráfico anterior com relação a volatilidade das temperaturas.

Gráfico 8 – Comparativo de temperaturas do dia 10/11/2018



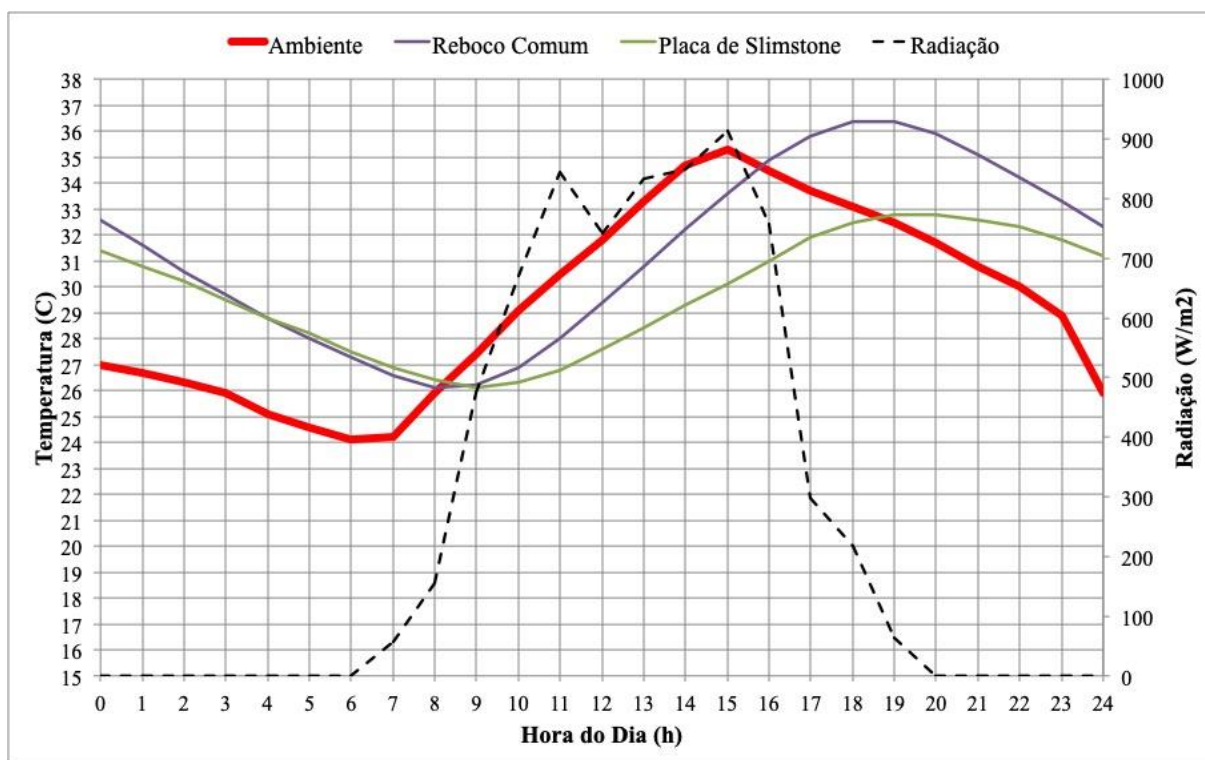
Fonte: Do autor (2018).

O Gráfico 9, a seguir, demonstra a variação das temperaturas internas dos protótipos e externa aos mesmos no dia 11/11/2018. Neste dia, a temperatura máxima ambiente (externa) foi de $35,30^{\circ}\text{C}$ às 15:00 e a radiação neste momento era a máxima, 914 W/m^2 . No momento de maior temperatura externa, os protótipos II e III tiveram, respectivamente, diferença de temperatura de $-1,70^{\circ}\text{C}$ e $-5,20^{\circ}\text{C}$ com relação à externa. Percebe-se diferença de temperatura de $3,50^{\circ}\text{C}$ entre os protótipos II e III.

Além disso, a temperatura máxima interna no protótipo II foi de $36,40^{\circ}\text{C}$ às 19:00 e no protótipo III foi de $32,80^{\circ}\text{C}$ às 20:00. Estes resultados demonstram que o protótipo III teve a menor temperatura máxima interna, estando $3,60^{\circ}\text{C}$ menor que o protótipo II. Também demonstra que o protótipo III possui o maior atraso térmico, ou seja, o protótipo que mais

levou tempo para atingir a temperatura máxima interna. O gráfico demonstra os mesmos resultados que o gráfico anterior com relação a volatilidade das temperaturas.

Gráfico 9 – Comparativo de temperaturas do dia 11/11/2018

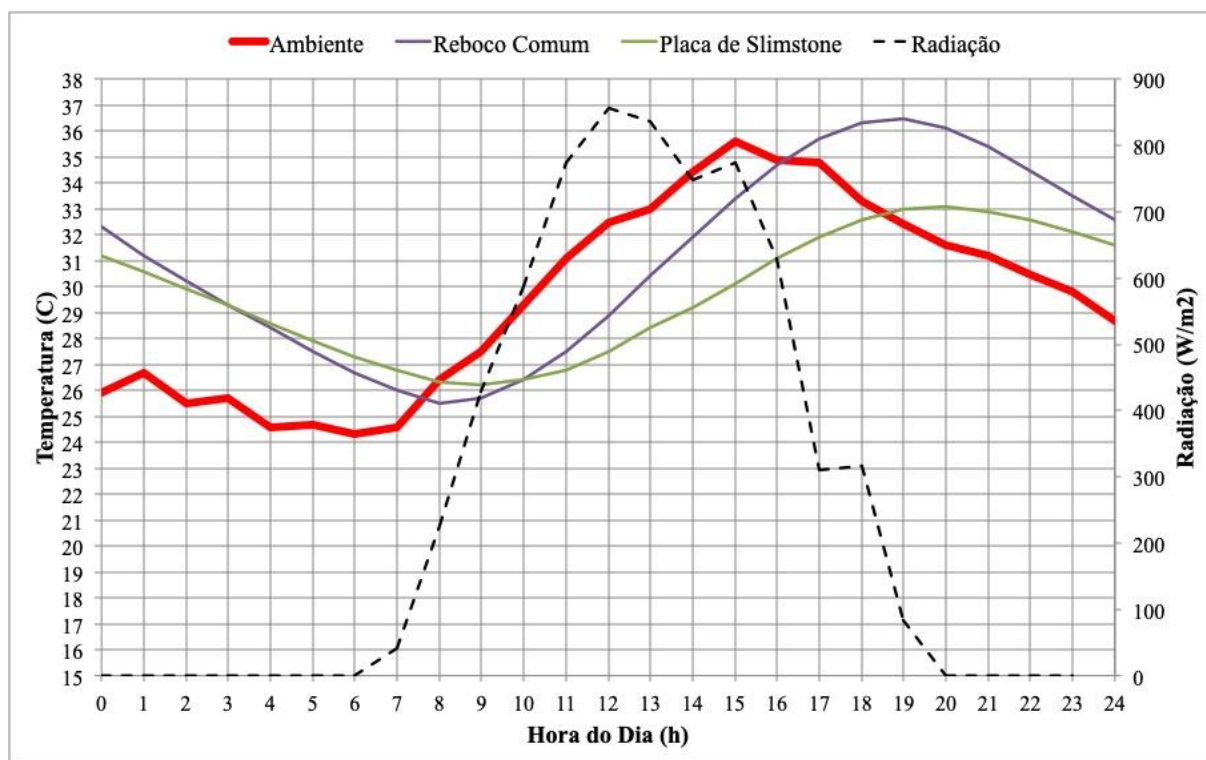


Fonte: Do autor (2018).

O Gráfico 10, a seguir, demonstra a variação das temperaturas internas dos protótipos e externa aos mesmos no dia 12/11/2018. Neste dia, a temperatura máxima ambiente (externa) foi de 35,60°C às 15:00 e a radiação neste momento era 774 W/m². A radiação máxima foi de 857 W/m² às 12:00, sendo a temperatura neste horário de 32,50°C. No momento de maior temperatura externa, os protótipos II e III tiveram, respectivamente, diferença de temperatura de -2,20°C e -5,50°C com relação à externa. Percebe-se diferença de temperatura de 3,30°C entre os protótipos II e III.

Além disso, a temperatura máxima interna no protótipo II foi de 36,50°C às 19:00 e no protótipo III foi de 33,10°C às 20:00. Estes resultados demonstram que o protótipo III teve a menor temperatura máxima interna, estando 3,40°C menor que o protótipo II. Também demonstra que o protótipo III possui o maior atraso térmico, ou seja, o protótipo que mais levou tempo para atingir a temperatura máxima interna. O gráfico demonstra os mesmos resultados que o gráfico anterior com relação a volatilidade das temperaturas.

Gráfico 10 – Comparativo de temperaturas do dia 12/11/2018



Fonte: Do autor (2018).

Afirma-se que o protótipo III foi o protótipo com melhor desempenho térmico, ficando a temperatura máxima em média $3,90^{\circ}\text{C}$ inferior ao protótipo II e $5,46^{\circ}\text{C}$ ao protótipo I. Esse resultado demonstra empiricamente, que a resistência térmica do protótipo III é muito maior que dos outros protótipos e, por conseguinte, a transmitância térmica é menor. O resultado é comprovado quando se observa a condutividade térmica dos materiais, a qual do slimstone composite é muito inferior se comparado aos materiais convencionais. O atraso térmico é decorrente das mesmas propriedades térmicas. Percebe-se que a radiação solar aumenta com a aproximação do verão e com ela ocorre o aumento de temperatura ambiente. Os altos atrasos térmicos são devido à ventilação nula nos protótipos, proporcionando maior eficiência em todos os protótipos.

4.2 Comparativo de temperatura por 48 horas

Foram analisados, com o Quadro 9, as temperaturas máximas em cada dia, para observar se houve acúmulo de calor entre os dois dias.

Quadro 9 – Temperaturas máximas

Dia	Ambiente	Prot. I	Prot. II	Prot. III	Dia	Ambiente	Prot. I	Prot. II	Prot. III
06/09/18	25,60	28,20	26,60	22,70	05/10/18	22,90	27,50	24,70	21,00
07/09/18	27,20	29,70	27,20	23,70	06/10/18	23,90	28,30	25,40	21,40
08/09/18	25,60	27,50	25,20	22,00	07/10/18	27,70	32,80	30,00	25,90
09/09/18	23,50	25,20	23,20	20,30	08/10/18	31,10	35,30	33,60	29,60
10/09/18	24,90	26,90	24,50	21,60	09/10/18	30,50	31,20	30,10	28,20
11/09/18	21,80	22,20	21,10	18,90	20/10/18	25,40	28,30	27,40	23,50
12/09/18	26,80	29,90	26,80	23,10	21/10/18	27,00	30,20	28,90	24,90
13/09/18	26,10	28,50	26,80	23,80	22/10/18	31,20	33,40	32,50	28,60
14/09/18	21,20	22,30	23,50	22,30	23/10/18	23,40	26,20	27,50	26,40
15/09/18	25,00	24,80	23,20	21,20	24/10/18	25,10	26,30	25,70	23,00
16/09/18	25,20	27,30	24,70	22,50	25/10/18	30,20	32,50	31,20	28,10
17/09/18	24,00	25,70	23,40	21,60	26/10/18	27,70	27,80	27,20	26,40
18/09/18	25,70	26,10	24,60	22,70	27/10/18	25,10	25,40	24,00	22,10
19/09/18	29,40	31,70	28,90	26,10	28/10/18	25,70	27,50	26,40	23,30
20/09/18	21,70	21,80	22,60	21,20	29/10/18	28,30	30,60	29,40	25,80
21/09/18	29,10	32,00	29,20	26,20	30/10/18	33,40	35,50	34,60	30,90
22/09/18	33,00	36,20	33,90	30,00	31/10/18	25,80	28,10	29,90	29,10
23/09/18	24,70	25,70	28,30	26,80	01/11/18	26,20	27,60	26,70	24,40
24/09/18	20,50	20,10	19,90	19,30	02/11/18	28,80	30,30	29,60	26,40
25/09/18	21,40	21,00	20,60	19,80	03/11/18	22,60	23,50	25,30	24,70
26/09/18	25,70	26,20	25,20	23,80	04/11/18	27,10	28,20	27,40	24,20
27/09/18	23,90	24,30	23,70	22,70	05/11/18	30,80	N.A.	31,90	28,00
28/09/18	29,00	30,60	29,30	26,50	06/11/18	30,90	N.A.	32,20	28,90
29/09/18	33,20	36,60	34,80	30,50	07/11/18	27,20	N.A.	27,40	25,90
30/09/18	24,80	25,90	29,30	28,30	08/11/18	31,20	N.A.	32,10	28,40
01/10/18	22,80	22,40	21,80	22,10	09/11/18	33,10	N.A.	34,50	30,50
02/10/18	18,60	20,10	20,60	20,50	10/11/18	34,80	N.A.	36,50	32,80
03/10/18	17,50	17,70	17,10	16,30	11/11/18	35,30	N.A.	36,40	32,80
04/10/18	23,40	26,30	23,60	21,00	12/11/18	35,60	N.A.	36,50	33,10

Fonte: Do autor (2018).

A primeira das três análises desse tópico analisa a variação de temperatura nos dias 28/09/2018 e 29/09/2018. No primeiro dia, a temperatura máxima ambiente foi de 29,00°C, no protótipo I foi de 30,60°C, no protótipo II foi de 30,10°C e no protótipo III foi de 26,50°C. No segundo dia, a temperatura máxima ambiente foi de 33,20°C, no protótipo I foi de 36,60°C, no protótipo II foi de 35,20°C e no protótipo III foi de 30,50°C. Sendo assim, a diferença de temperatura ambiente entre o segundo e o primeiro dia foi de 4,20°C, enquanto o protótipo I teve diferença de 6,00°C, o protótipo II de 5,10°C e o protótipo III de 4,00°C. É

possível afirmar que os protótipos I e II tiveram acúmulo de calor entre os dois dias, pois, variaram mais que a temperatura ambiente. O protótipo III não sofreu com tal acúmulo, pois, variou menos que a temperatura ambiente.

A segunda análise desse tópico analisa a variação de temperatura nos dias 09/11/2018 e 10/11/2018. No primeiro dia, a temperatura máxima ambiente foi de 33,10°C, no protótipo II foi de 34,50°C e no protótipo III foi de 30,50°C. No segundo dia, a temperatura máxima ambiente foi de 34,80°C, no protótipo II foi de 36,50°C e no protótipo III foi de 32,80°C. Sendo assim, a diferença de temperatura ambiente entre o segundo e o primeiro dia foi de 1,40°C, enquanto o protótipo II de 4,30°C e o protótipo III de 2,30°C. É possível afirmar que os protótipos II e III tiveram acúmulo de calor entre os dois dias, pois, variaram mais que a temperatura ambiente.

A terceira análise foi entre os dias 11/11/2018 e 12/11/2018. No primeiro dia, a temperatura máxima ambiente foi de 35,30°C, no protótipo II foi de 36,40°C e no protótipo III foi de 32,80°C. No segundo dia, a temperatura máxima ambiente foi de 35,60°C, no protótipo II foi de 36,50°C e no protótipo III foi de 33,10°C. Sendo assim, a diferença de temperatura ambiente entre o segundo e o primeiro dia foi de 0,30°C, enquanto o protótipo II de 0,10°C e o protótipo III de 0,30°C. É possível afirmar que os protótipos II e III não tiveram acúmulo de calor entre os dois dias, pois, variaram igual ou menos que a temperatura ambiente.

O acúmulo de calor dentro dos protótipos é resultado da falta de ventilação nos mesmos, resultando em maior dificuldade em perda e ganho de calor. O protótipo III não apresentou acúmulo de calor entre dois dias com grande diferencial de temperatura externa e apresentou pequeno acúmulo entre dois dias quentes sem diferencial de temperatura externa. O protótipo II, por apresentar menor resistência térmica, perdeu mais calor que o protótipo III na madrugada entre os dois dias quentes.

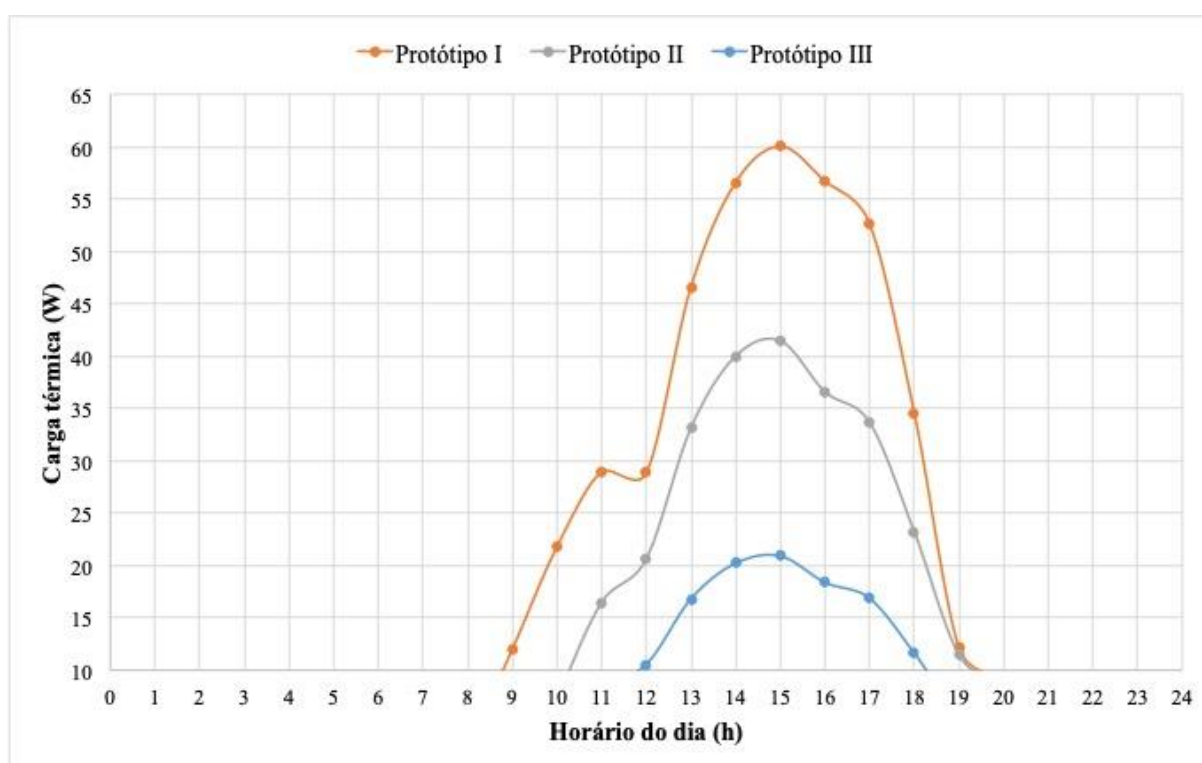
4.3 Comparativo de carga térmica

Após analisar as temperaturas medidas pelos sensores, analisou-se as cargas térmicas durante as horas dos dias mais quentes. Utilizando a NBR 15.220 (2005), foi possível calcular as cargas térmicas de cada fachada, utilizando o índice de radiação solar da latitude 30°, dezembro 22, conforme o horário, como ilustra a tabela 10. A temperatura interna considera

foi sempre 24°C, pois é considerada a temperatura de conforto. A temperatura externa utilizada foi a temperatura ambiente durante o dia, de hora em hora. A transmitância térmica das fachadas variou entre os três protótipos. O protótipo I teve as fachadas com transmitância térmica de 3,48 W/m²K, o protótipo II de 3,28 W/m²K e o protótipo III de 1,61 W/m²K. A cobertura teve transmitância térmica de 0,49 W/m²K.

O Gráfico 11, a seguir, demonstra a carga térmica durante o dia 19/09/2018. Percebe-se que o protótipo III é o protótipo que tem o menor tempo do dia com acúmulo de carga térmica, tendo cerca de 4 horas a menos que o protótipo I e 2,5 horas a menos que o protótipo II. Além disso a carga máxima do protótipo III foi 65,18% menor que a carga máxima do protótipo I e 49,58% menor que a carga máxima do protótipo II.

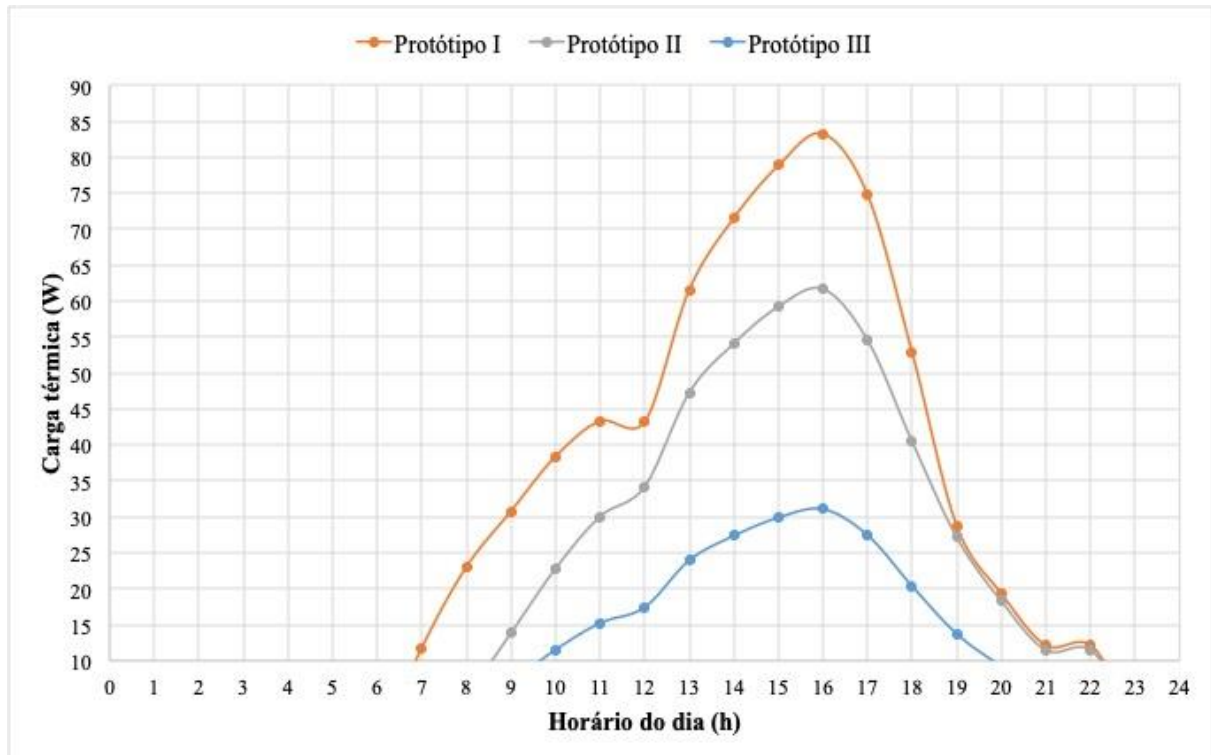
Gráfico 11 – Carga térmica do dia 19/09/2018



Fonte: Do autor (2018).

O Gráfico 12, a seguir, demonstra a carga térmica durante o dia 22/09/2018. Percebe-se que o protótipo III é o protótipo que tem o menor tempo do dia com acúmulo de carga térmica, tendo cerca de 4,5 horas a menos que o protótipo I e 3 horas a menos que o protótipo II. Além disso a carga máxima do protótipo III foi 62,69% menor que a carga máxima do protótipo I e 49,62% menor que a carga máxima do protótipo II.

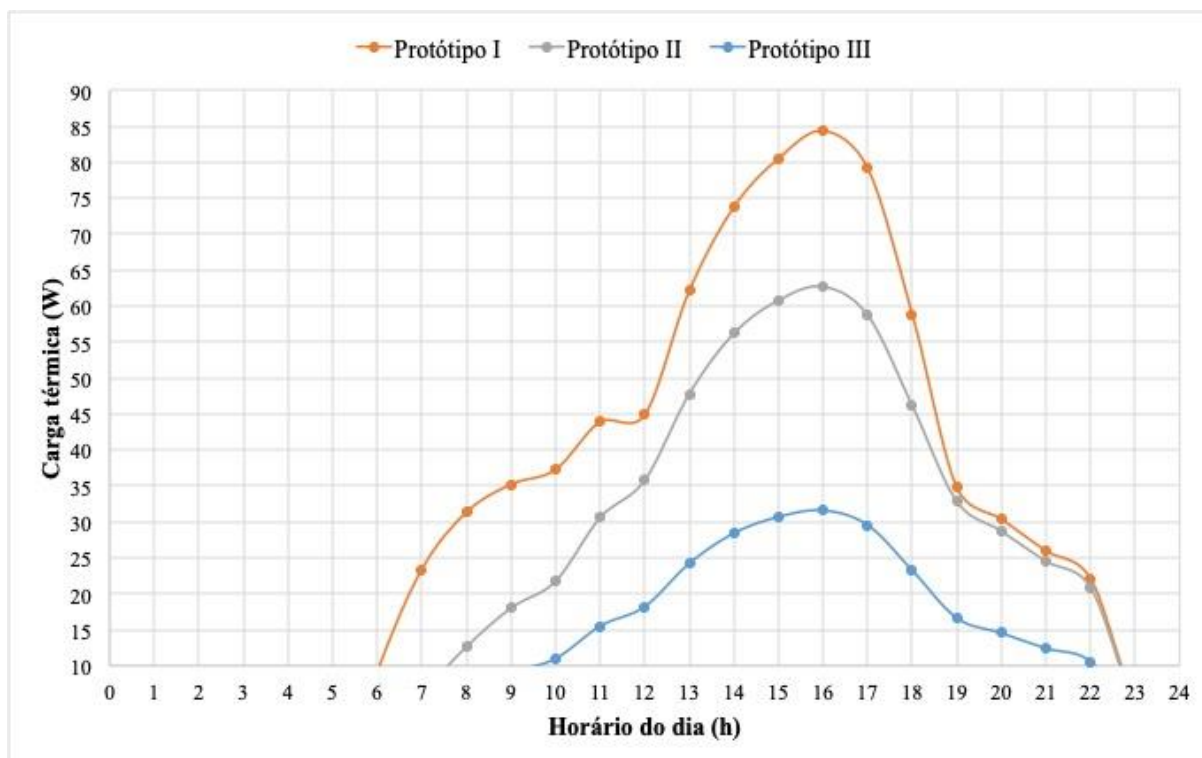
Gráfico 12 – Carga térmica do dia 22/09/2018



Fonte: Do autor (2018).

O Gráfico 13, a seguir, demonstra a carga térmica durante o dia 29/09/2018. Percebe-se que o protótipo III é o protótipo que tem o menor tempo do dia com acúmulo de carga térmica, tendo cerca de 4 horas a menos que o protótipo I e 2,5 horas a menos que o protótipo II. Além disso a carga máxima do protótipo III foi 62,55% menor que a carga máxima do protótipo I e 49,61% menor que a carga máxima do protótipo II.

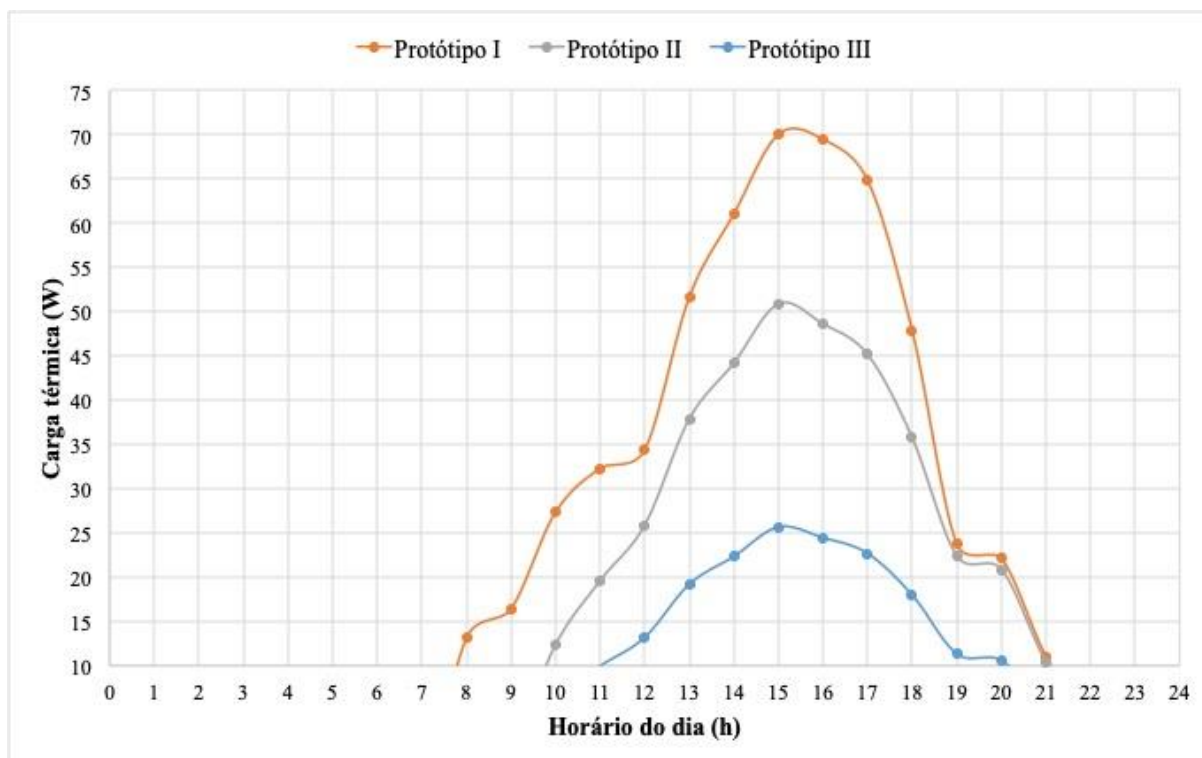
Gráfico 13 – Carga térmica do dia 29/09/2018



Fonte: Do autor (2018).

O Gráfico 14, a seguir, demonstra a carga térmica durante o dia 22/10/2018. Percebe-se que o protótipo III é o protótipo que tem o menor tempo do dia com acúmulo de carga térmica, tendo cerca de 4 horas a menos que o protótipo I e 2 horas a menos que o protótipo II. Além disso a carga máxima do protótipo III foi 63,34% menor que a carga máxima do protótipo I e 49,54% menor que a carga máxima do protótipo II.

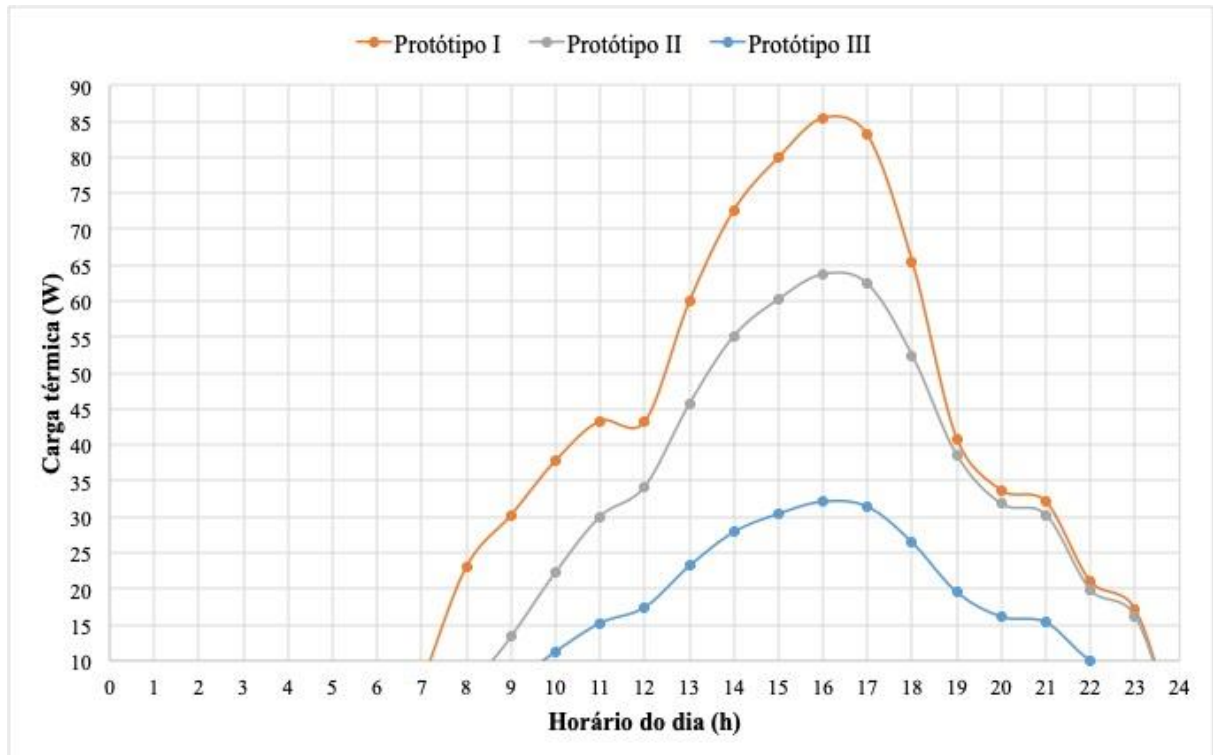
Gráfico 14 – Carga térmica do dia 22/10/2018



Fonte: Do autor (2018).

O Gráfico 15, a seguir, demonstra a carga térmica durante o dia 30/10/2018. Percebe-se que o protótipo III é o protótipo que tem o menor tempo do dia com acúmulo de carga térmica, tendo cerca de 3,5 horas a menos que o protótipo I e 2,5 horas a menos que o protótipo II. Além disso a carga máxima do protótipo III foi 62,42% menor que a carga máxima do protótipo I e 49,61% menor que a carga máxima do protótipo II.

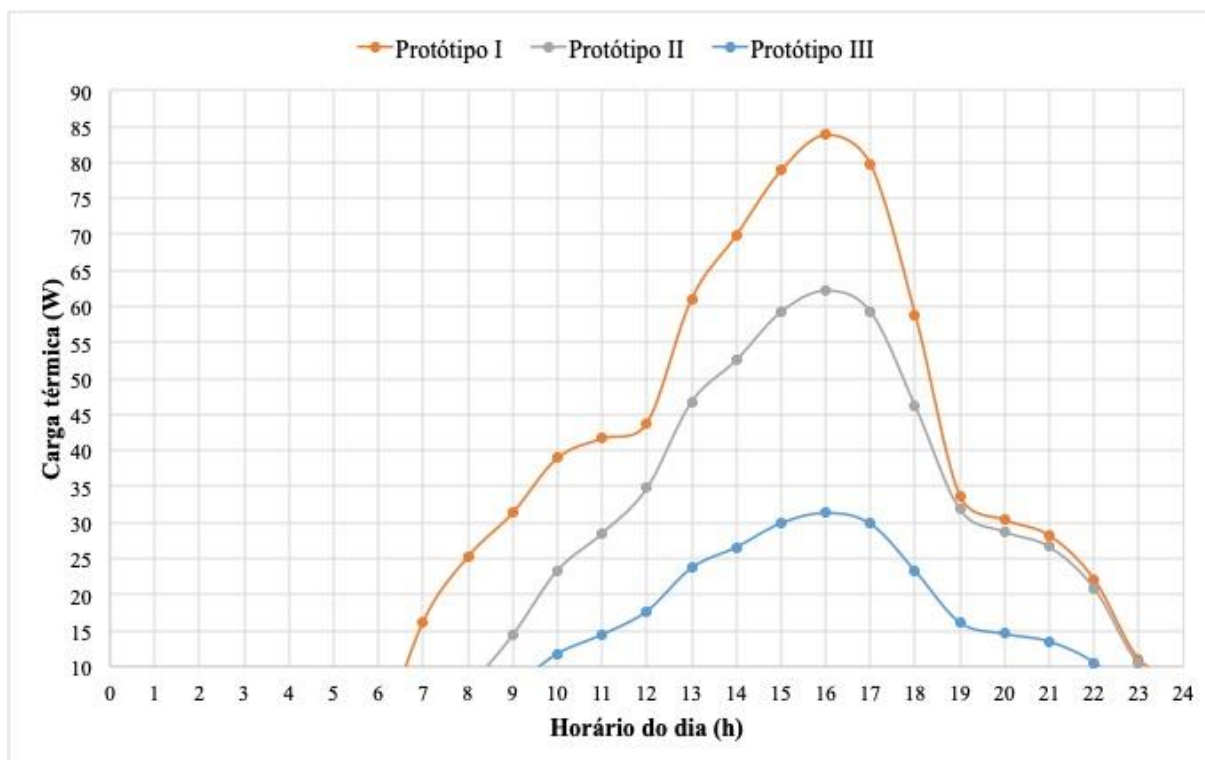
Gráfico 15 – Carga térmica do dia 30/10/2018



Fonte: Do autor (2018).

O Gráfico 16, a seguir, demonstra a carga térmica durante o dia 09/11/2018. Percebe-se que o protótipo III é o protótipo que tem o menor tempo do dia com acúmulo de carga térmica, tendo cerca de 4 horas a menos que o protótipo I e 2 horas a menos que o protótipo II. Além disso a carga máxima do protótipo III foi 62,62% menor que a carga máxima do protótipo I e 49,61% menor que a carga máxima do protótipo II.

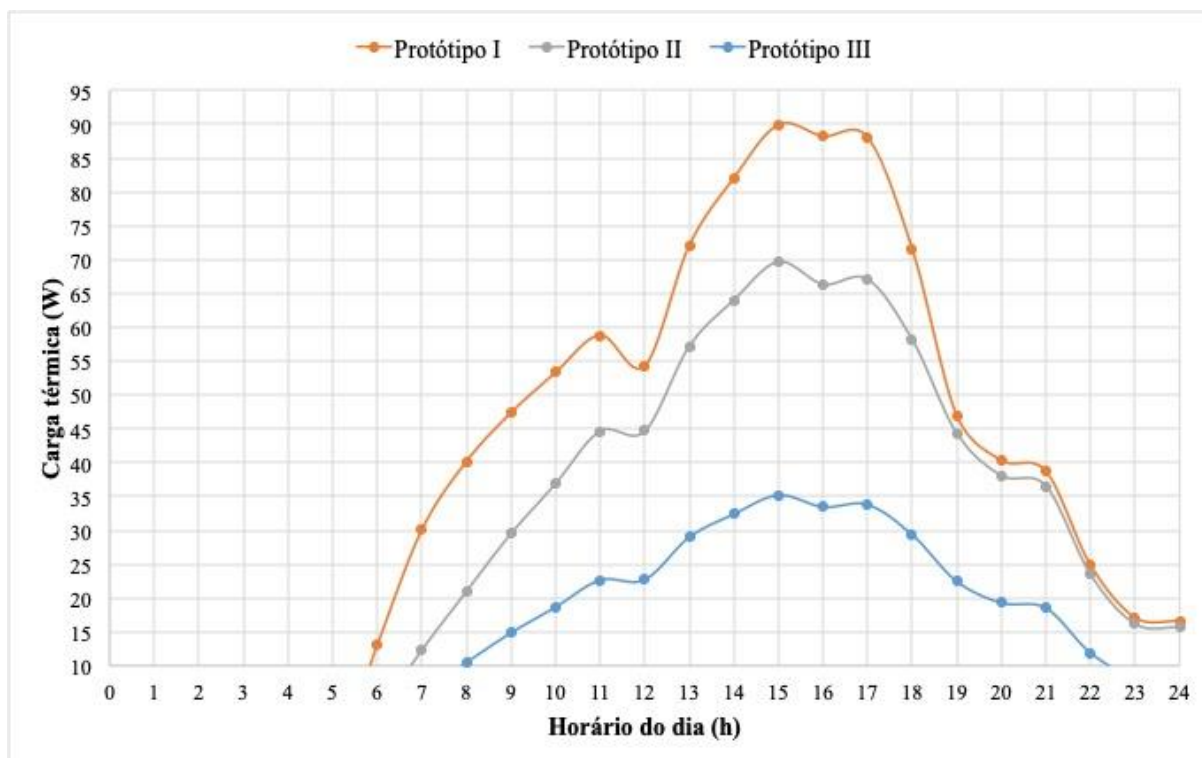
Gráfico 16 – Carga térmica do dia 09/11/2018



Fonte: Do autor (2018).

O Gráfico 17, a seguir, demonstra a carga térmica durante o dia 10/11/2018. Percebe-se que o protótipo III é o protótipo que tem o menor tempo do dia com acúmulo de carga térmica, tendo cerca de 6,5 horas a menos que o protótipo I e 5,5 horas a menos que o protótipo II. Além disso a carga máxima do protótipo III foi 60,87% menor que a carga máxima do protótipo I e 49,50% menor que a carga máxima do protótipo II.

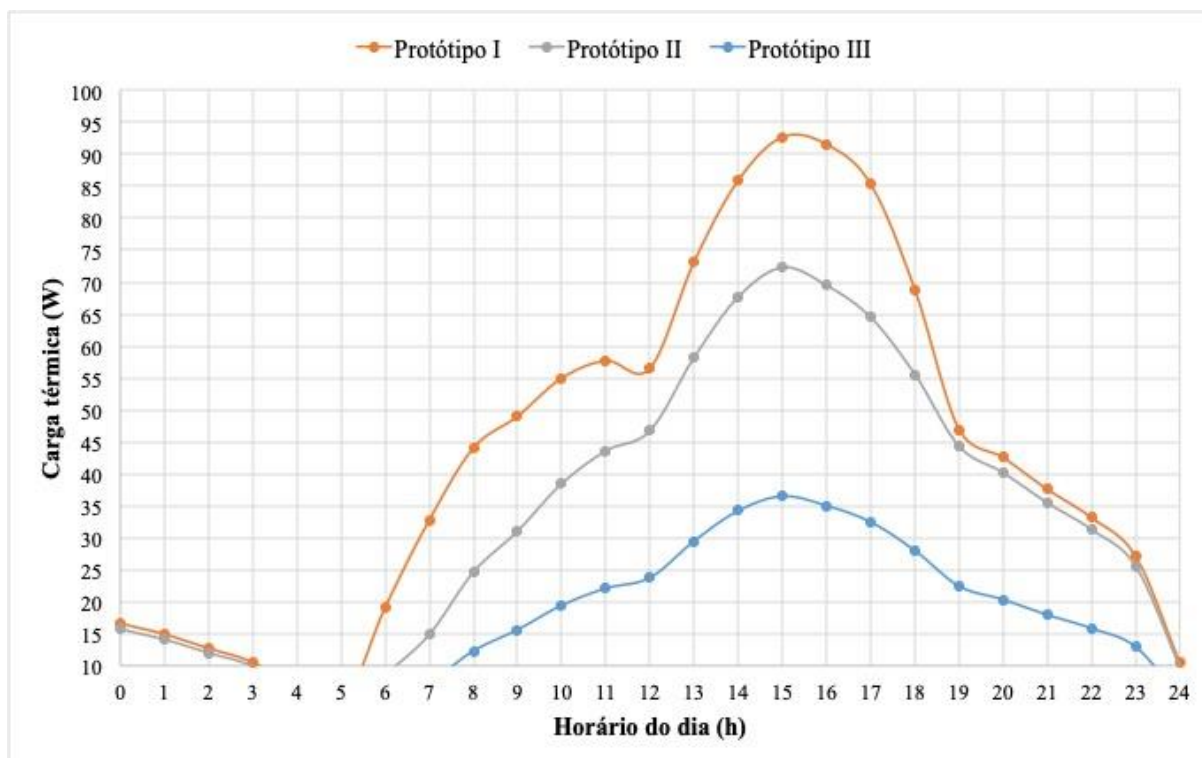
Gráfico 17 – Carga térmica do dia 10/11/2018



Fonte: Do autor (2018).

O Gráfico 18, a seguir, demonstra a carga térmica durante o dia 11/11/2018. Percebe-se que o protótipo III é o protótipo que tem o menor tempo do dia com acúmulo de carga térmica, tendo cerca de 2,5 horas a menos que o protótipo I e 1,5 horas a menos que o protótipo II. Além disso a carga máxima do protótipo III foi 60,61% menor que a carga máxima do protótipo I e 49,49% menor que a carga máxima do protótipo II.

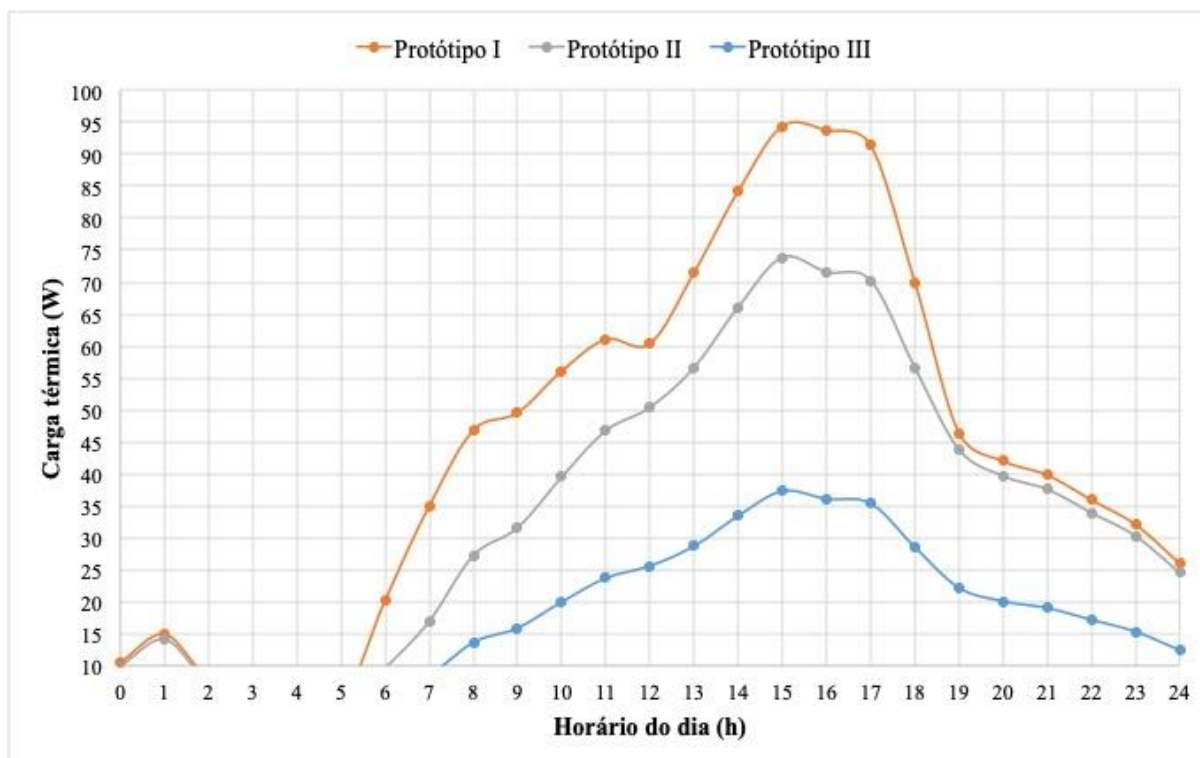
Gráfico 18 – Carga térmica do dia 11/11/2018



Fonte: Do autor (2018).

O Gráfico 19, a seguir, demonstra a carga térmica durante o dia 12/11/2018. Percebe-se que o protótipo III é o protótipo que tem o menor tempo do dia com acúmulo de carga térmica, tendo cerca de 2 horas a menos que o protótipo I e 1 horas a menos que o protótipo II. Além disso a carga máxima do protótipo III foi 60,47% menor que a carga máxima do protótipo I e 49,49% menor que a carga máxima do protótipo II.

Gráfico 19 – Carga térmica do dia 12/11/2018



Fonte: Do autor (2018).

Nota-se que, em todos os gráficos, a carga térmica do protótipo III foi muito inferior aos outros dois protótipos. Esse resultado, mais uma vez, comprova a maior resistência térmica das placas de isolamento térmico desenvolvidas com relação aos materiais convencionais. A maior resistência é explicada pela menor condutividade térmica das placas de slimstone composite recicladas.

4.4 Representatividade dos fechamentos

Após analisar as cargas térmicas dos dias mais quentes observados, utilizou-se o momento de maior carga térmica para analisar a representatividade de cada fechamento no total da carga térmica de cada protótipo. O Quadro 10, Quadro 11 e Quadro 12, a seguir, representam a simulação de carga térmica nos protótipos I, II e III no momento de maior temperatura externa, dia 12/11/2018, às 15:00.

Quadro 10 – Simulação do protótipo I

Protótipo I	Esp. (m)	Cond. Térm. (W/(m.K))	TRANSM. PAREDES	NORTE
Argamassa	0,01	1,15	Argamassa A = 0,0031 m ²	qFO = 45,68 W/m ² Aalv. = 0,384 m ²
Argamassa	0,11	1,15	Rta = 0,0957 m ² k/W	QFO = 17,54 W
Bloco (C)	0,23	0,90	Bloco	SUL
Bloco (L)	0,11	0,90	A = 0,0161 m ²	qFO = 47,49 W/m ² Aalv. = 0,384 m ²
Bloco (A)	0,07	0,90	Rtb = 0,1222 m ² k/W	QFO = 18,24 W
Telha Sanduíche	0,03	0,0186	Rt = 0,1170 m ² k/W	LESTE
Laje	0,05	1,75	RT = 0,2870 m ² k/W	qFO = 45,68 W/m ² Aalv. = 0,384 m ²
Ti = 24 °C			U = 3,48 W/m²k	QFO = 17,54 W
Te = 35,6 °C			TRANSM. COBERTURA	OESTE
			Esp. (m)	qFO = 100,85 W/m ² Aalv. = 0,384 m ²
α (Cerâmica) = 0,65			Laje = 0,05	QFO = 38,73 W
LATITUDE = 30°			Telha = 0,03	COBERTURA
Hora maior carga = 15:00			<i>Verão</i>	qFO = 6,41 W/m ² Q = 2,31 W
I (norte) = 58			Rar = 0,21	CARGA TÉRMICA
I (Sul) = 78			A Cob. = 0,36 m ²	CT = 94,35 W
I (Leste) = 58			Cerâmica + Ar + Concreto	
I (Oeste) = 667			Rt = 1,8515 m ² k/W	
H = 804			RT = 2,0615 m ² k/W	
α (Cob. = Alum.) = 0,05			U = 0,49 W/m²k	

Fonte: Do autor (2018).

Quadro 11 – Simulação do protótipo II

Protótipo II	Esp. (m)	Cond. Térm. (W/(m.K))	TRANSM. PAREDES	NORTE
Reboco	0,02	1,15	Reboco + Argamassa	qFO = 40,38 W/m ²
Argamassa	0,01	1,15	A = 0,0031 m ²	Aalv. = 0,384 m ²
Argamassa	0,11	1,15	Rta = 0,1130 m ² k/W	QFO = 15,51 W
Bloco (C)	0,23	0,90	Reboco + Bloco	SUL
Bloco (L)	0,11	0,90	A = 0,0161 m ²	qFO = 41,17 W/m ²
Bloco (A)	0,07	0,90	Rtb = 0,1396 m ² k/W	Aalv. = 0,384 m ²
Telha Sanduíche	0,03	0,0186	Rt = 0,13 m ² k/W	QFO = 15,81 W
Laje	0,05	1,75	RT = 0,30 m ² k/W	LESTE
Ti = 24 °C			U = 3,28 W/m²k	qFO = 40,38 W/m ²
Te = 35,6 °C			TRANSM. COBERTURA	Aalv. = 0,384 m ²
			Esp. (m)	QFO = 15,51 W
α (Reboco) = 0,3			Laje = 0,05	OESTE
LATITUDE = 30°			Telha = 0,03	qFO = 64,38 W/m ²
Hora maior carga = 15:00			<i>Verão</i>	Aalv. = 0,384 m ²
I (norte) = 58			Rar = 0,21	QFO = 24,72 W
I (Sul) = 78			A Cob. = 0,36 m ²	COBERTURA
I (Leste) = 58			Cerâmica + Ar + Concreto	qFO = 6,41 W/m ²
I (Oeste) = 667			Rt = 1,8515 m ² k/W	Q = 2,31 W
H = 804			RT = 2,0615 m ² k/W	CARGA TÉRMICA
α (Cob. = Alum.) = 0,05			U = 0,49 W/m²k	CT = 73,85 W

Fonte: Do autor (2018).

Quadro 12 – Simulação do protótipo III

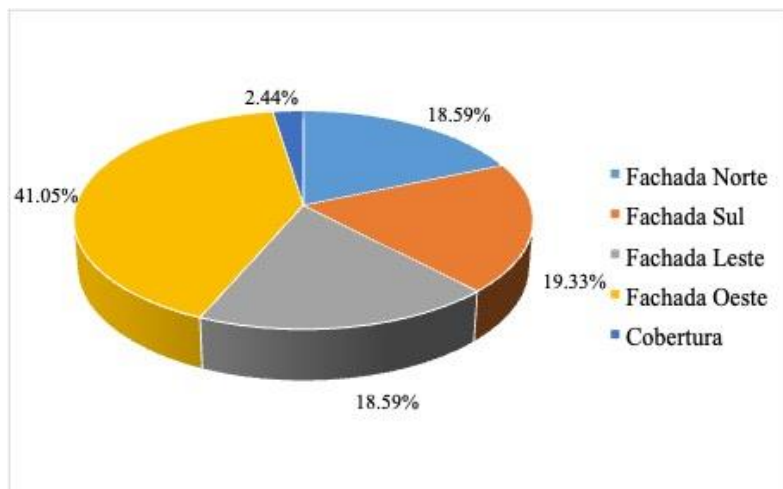
Protótipo III	Esp. (m)	Cond. Térm. (W/(m.K))	TRANSM. PAREDES	NORTE
Placa de Slimstone	0,02	0,063	Placa + Argamassa	qFO = 19,75 W/m ²
Argamassa	0,01	1,15	A = 0,0031 m ²	Aalv. = 0,384 m ²
Argamassa	0,11	1,15	Rta = 0,4305 m ² k/W	QFO = 7,58 W
Bloco (C)	0,23	0,90	Placa + Bloco	SUL
Bloco (L)	0,11	0,90	A = 0,0161 m ²	qFO = 20,14 W/m ²
Bloco (A)	0,07	0,90	Rtb = 0,4571 m ² k/W	Aalv. = 0,384 m ²
Telha Sanduíche	0,03	0,0186	Rt = 0,45 m ² k/W	QFO = 7,73 W
Laje	0,05	1,75	RT = 0,62 m ² k/W	LESTE
Ti = 24 °C			U = 1,61 W/m²k	qFO = 19,75 W/m ²
Te = 35,6 °C			TRANSM. COBERTURA	Aalv. = 0,384 m ²
			Esp. (m)	QFO = 7,58 W
α (Reboco) = 0,3			Laje = 0,05	OESTE
LATITUDE = 30°			Telha = 0,03	qFO = 31,49 W/m ²
Hora maior carga = 15:00			<i>Verão</i>	Aalv. = 0,384 m ²
I (norte) = 58			Rar = 0,21	QFO = 12,09 W
I (Sul) = 78			A Cob. = 0,36 m ²	COBERTURA
I (Leste) = 58			Cerâmica + Ar + Concreto	qFO = 6,41 W/m ²
I (Oeste) = 667			Rt = 1,8515 m ² k/W	Q = 2,31 W
H = 804			RT = 2,0615 m ² k/W	CARGA TÉRMICA
α (Cob. = Alum.) = 0,05			U = 0,49 W/m²k	CT = 37,30 W

Fonte: Do autor (2018).

As simulações permitiram realizar um gráfico de pizza com a representatividade de cada fachada e da cobertura na carga térmica total de cada protótipo.

O Gráfico 20, a seguir, ilustra a representatividade de cada fachada e da cobertura na carga térmica do protótipo I. Observa-se a baixa contribuição da cobertura no total de carga térmica, devido ao bom isolamento da mesma. As paredes contribuíram 97,66%, devido aos materiais convencionais não possuírem bom isolamento. A fachada oeste foi a que mais contribuiu com 41,05%, pois, é a fachada que tem maior radiação recebida neste período do ano.

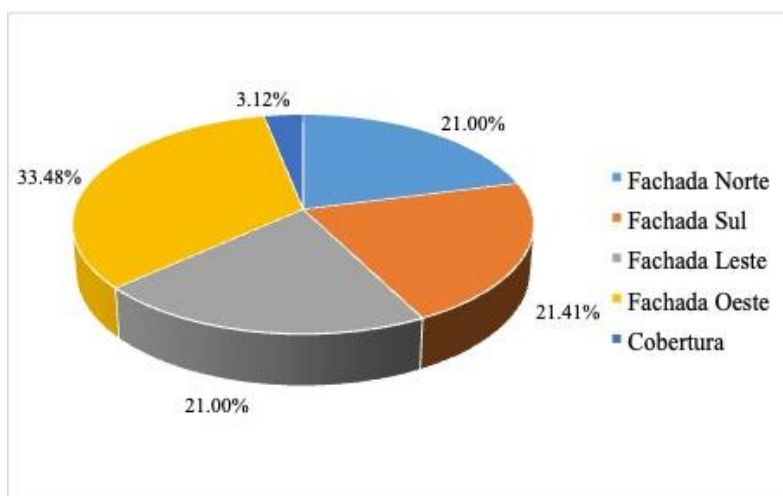
Gráfico 20 – Representatividade na carga térmica do protótipo I



Fonte: Do autor (2018).

O Gráfico 21 ilustra a representatividade de cada fachada e da cobertura na carga térmica do protótipo II. Apesar da mesma cobertura aplicada no protótipo I, observa-se um pequeno aumento na contribuição da cobertura no total de carga térmica. Isto ocorre devido às paredes possuírem uma camada a mais, de reboco, para reduzir a transmitância térmica. As paredes contribuíram 96,88%, devido aos materiais convencionais não possuírem bom isolamento. A fachada oeste foi a que mais contribuiu com 33,48%, pois, é a fachada que tem maior radiação recebida neste período do ano. A grande diminuição na fachada oeste, com relação ao protótipo I, ocorre, pois, a absortividade da camada externa é menor.

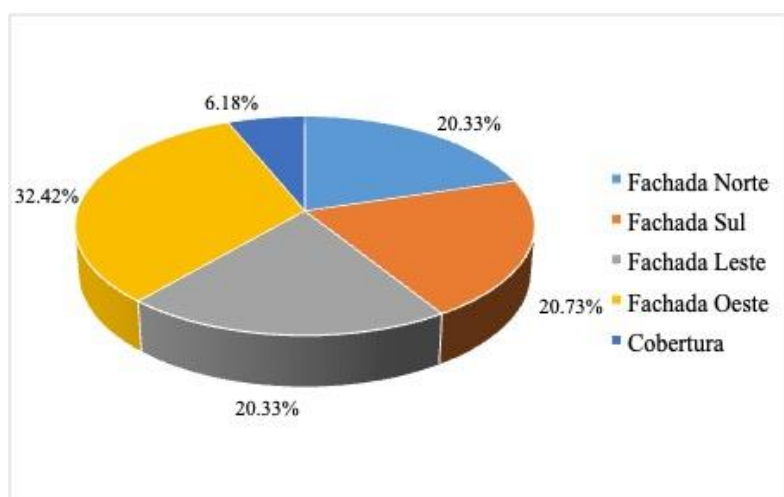
Gráfico 21 – Representatividade na carga térmica do protótipo II



Fonte: Do autor (2018).

O Gráfico 22 ilustra a representatividade de cada fachada e da cobertura na carga térmica do protótipo III. Apesar da mesma cobertura aplicada nos protótipos I e II, observa-se um grande aumento na contribuição da cobertura no total de carga térmica. Isto ocorre devido às paredes possuírem uma camada a mais, de placas de isolamento, para reduzir a transmitância térmica. As paredes contribuíram 93,82%. Obteve boa diminuição, se comparado aos outros protótipos. A fachada oeste foi a que mais contribuiu com 32,42%, pois, é a fachada que tem maior radiação recebida neste período do ano. A pequena diminuição na fachada oeste, com relação ao protótipo II, ocorre, pois, a absortividade da camada externa é a mesma.

Gráfico 22 – Representatividade na carga térmica do protótipo III



Fonte: Do autor (2018).

4.5 Atraso térmico

A partir dos dados de temperaturas, analisou-se o atraso térmico de forma empírica, marcando-se a hora de temperatura máxima externa e observando quanto tempo depois foi anotada a maior temperatura dentro de cada protótipo. A análise foi feita nos dias mais quentes e após isso, realizada a média dos valores obtidos. O Quadro 13, a seguir apresenta os resultados.

Quadro 13 – Atraso térmico nos protótipos

Data	Te Máx (°C)	Hora	Rad. Solar Máx. (W/m ²)	Protótipo I				Protótipo II				Protótipo III			
				Ti (°C)	Atraso (h)	Ti Máx (°C)	Hora (h)	Ti (°C)	Atraso (h)	Ti Máx (°C)	Hora (h)	Ti (°C)	Atraso (h)	Ti Máx (°C)	Hora (h)
19/9	29,9	15,5	822,0	30,3	1,5	31,7	17,0	27,5	2,5	30,1	18,0	24,2	3,5	26,2	19,0
21/9	29,1	15,5	825,0	31,3	1,5	32,2	17,0	27,7	4,0	30,0	19,5	24,7	4,0	26,2	19,5
22/9	33,2	16,0	837,0	35,5	1,0	36,5	17,0	32,3	2,5	34,4	18,5	28,3	3,0	30,2	19,0
28/9	29,0	14,0	881,0	29,9	1,5	30,9	15,5	27,2	4,5	30,5	18,5	24,9	5,5	26,7	19,5
29/9	33,4	15,5	899,0	34,3	2,0	36,9	17,5	31,7	3,5	35,2	19,0	27,0	5,0	30,6	20,5
8/10	31,1	15,5	992,0	33,7	2,5	35,3	18,0	30,7	3,5	33,8	19,0	26,4	5,5	29,6	21,0
22/10	31,2	15,0	935,0	30,0	3,0	33,4	18,0	28,5	3,5	32,7	18,5	24,6	5,0	28,6	20,0
30/10	33,4	16,0	951,0	32,5	3,0	35,5	19,0	31,2	3,5	34,8	19,5	27,1	5,0	30,9	21,0
9/11	33,1	16,0	984,0	-	-	-	-	31,6	3,0	34,5	19,0	27,5	4,5	30,6	20,5
10/11	34,8	15,0	970,0	-	-	-	-	32,7	4,0	36,5	19,0	29,1	5,5	32,8	20,5
11/11	35,3	15,0	914,0	-	-	-	-	33,6	3,5	36,6	18,5	30,1	4,5	32,9	19,5
12/11	35,6	15,0	857,0	-	-	-	-	33,4	4,0	36,5	19,0	30,1	5,0	33,1	20,0
				Méd. 2,0 horas				Méd. 3,5 horas				Méd. 4,7 horas			

Fonte: Do autor (2018).

Observa-se média de atraso térmico médio no protótipo III é de 4,7h, enquanto no protótipo I é de 2,0h e no protótipo II é de 3,5h. Outra vez, o resultado é decorrente da melhor qualidade de isolamento do protótipo III em comparativo com os outros dois protótipos. Observa-se ainda que com a aproximação do verão, quando o sol posiciona-se mais vertical ao hemisfério sul, a radiação aferida aumenta.

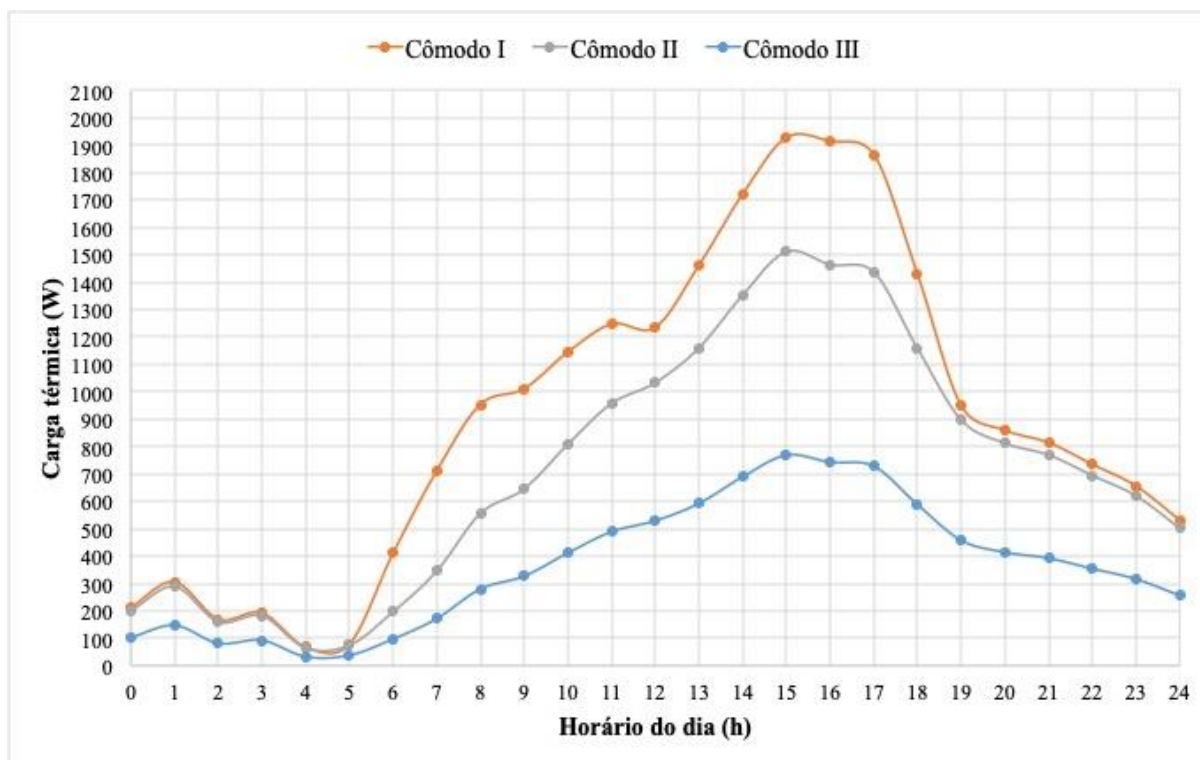
4.6 Consumo de energia

A partir do momento de maior calor registrado, dia 12/11/2018, às 15:00, foi realizado uma simulação do consumo de energia necessário para tornar o ambiente confortável. Para tal simulação, considerou-se um cômodo de 3,00m x 3,00m x 2,60m nos mesmos materiais dos protótipos, para obter valores mais expressivos. Segue-se as mesmas etapas do cálculo de carga térmica para obter as cargas térmicas dentro de cada quarto.

O custo unitário do kW.h, observado no mês de novembro cobrado pela RGE, contando a taxa de bandeira verde, é de R\$ 0,84. Estimou-se utilização diária de aparelho de climatização de 18 horas e utilização todos os dias do mês (30 dias).

Para realização da carga média diária, utilizou-se o dia mais quente observado, 12/11/2018, e realizou-se a simulação para os cômodos. Obteve-se o Gráfico 23, a seguir.

Gráfico 23 – Simulação de carga térmica nos cômodos I, II e III no dia 12/11/2018



Fonte: Do autor (2018).

A partir dos valores obtidos no gráfico, realizou-se a média de carga térmica em cada cômodo para estimar o consumo energético diário, considerando utilização de aparelho de climatização por 18 horas por dia e o consumo mensal energético, considerando 30 dias.

Observa-se, nos itens a seguir, que o cômodo III teve o menor custo mensal, tendo economia de 58,75% em relação com o cômodo I e 49,13% com o cômodo II. Ainda, no momento de maior carga térmica, obteve custo horário de R\$ 0,22, enquanto o cômodo I de R\$ 0,55 e o cômodo II de R\$ 0,43.

O resultado confirma novamente as melhores propriedades de isolamento do slimstone composite com relação aos materiais convencionais. Em um edifício de grande porte, o resultado geraria economia de um grande montante de dinheiro mensalmente.

4.6.1 Cômmodo I

O cômmodo I representa o protótipo I em escala aumentada. Abaixo, o Quadro 14 simula a carga térmica máxima para o cômmodo I.

Quadro 14 – Simulação do cômmodo I

Cômmodo I	Esp. (m)	Cond. Térm. (W/(m.K))	TRANSM. PAREDES	NORTE
			Argamassa	qFO = 45,68 W/m ²
Argamassa	0,01	1,15	A = 0,0031 m ²	Aalv. = 7,8 m ²
Argamassa	0,11	1,15	Rta = 0,0957 m ² k/W	QFO = 356,28 W
Bloco (C)	0,23	0,90	Bloco	SUL
Bloco (L)	0,11	0,90	A = 0,0161 m ²	qFO = 47,49 W/m ²
Bloco (A)	0,07	0,90	Rtb = 0,1222 m ² k/W	Aalv. = 7,8 m ²
Telha Sanduíche	0,03	0,0186	Rt = 0,1170 m ² k/W	QFO = 370,41 W
Laje	0,05	1,75	RT = 0,2870 m ² k/W	LESTE
Ti = 24 °C			U = 3,48 W/m²k	qFO = 45,68 W/m ²
Te = 35,6 °C			TRANSM. COBERTURA	Aalv. = 7,8 m ²
			Esp. (m)	QFO = 356,28 W
α (Cerâmica) = 0,65			Laje = 0,05	OESTE
LATITUDE = 30°			Telha = 0,03	qFO = 100,85 W/m ²
Hora maior carga = 15:00			<i>Verão</i>	Aalv. = 7,8 m ²
I (norte) = 58			Rar = 0,21	QFO = 786,64 W
I (Sul) = 78			A Cob. = 9 m ²	COBERTURA
I (Leste) = 58			Cerâmica + Ar + Concreto	qFO = 6,41 W/m ²
I (Oeste) = 667			Rt = 1,8515 m ² k/W	Q = 57,66 W
H = 804			RT = 2,0615 m ² k/W	CARGA TÉRMICA
α (Cob. = Alum.) = 0,05			U = 0,49 W/m²k	CT = 1927,27 W

Fonte: Do autor (2018).

A partir da carga térmica calculada de 1927,27 W, obteve-se, por conversão, 6576 BTU/h. Levando em consideração o selo de eficiência PROCEL “A”, a potência de um aparelho (em W.h) é igual a capacidade de resfriar ou aquecer dividido por 10. Portanto o aparelho em questão, teria potência de 0,657 kW.h. Multiplica-se pelo valor de R\$ 0,84 para obter o custo horário no momento de maior carga térmica. O custo horário máximo ficou R\$ 0,55.

A partir do Gráfico 23, apresentado no item 4.5, obteve-se valores de carga térmica durante o dia 12/11/2018. Aplica-se a média dos valores, para obter o consumo médio horário durante o dia. Obteve-se o valor de 904,39 W, ou seja, 3086 BTU/h. A potência seria 0,309 kW.h e o custo horário médio seria R\$ 0,26. Multiplicando por 18 e por 30, obteve-se um gasto mensal de R\$ 139,97.

4.6.2 Cômodo II

O cômodo II representa o protótipo II em escala aumentada. Abaixo, o Quadro 15 simula a carga térmica máxima para o cômodo II.

Quadro 15 – Simulação do cômodo II

Cômodo II	Esp. (m)	Cond. Térm. (W/(m.K))	TRANSM. PAREDES	NORTE
Reboco	0,02	1,15	Reboco + Argamassa	qFO = 40,38 W/m ²
Argamassa	0,01	1,15	A = 0,0031 m ²	Aalv. = 7,8 m ²
Argamassa	0,11	1,15	Rta = 0,1130 m ² k/W	QFO = 314,96 W
Bloco (C)	0,23	0,90	Reboco + Bloco	SUL
Bloco (L)	0,11	0,90	A = 0,0161 m ²	qFO = 41,17 W/m ²
Bloco (A)	0,07	0,90	Rtb = 0,1396 m ² k/W	Aalv. = 7,8 m ²
Telha Sanduíche	0,03	0,0186	Rt = 0,13 m ² k/W	QFO = 321,11 W
Laje	0,05	1,75	RT = 0,30 m ² k/W	LESTE
Ti = 24 °C			U = 3,28 W/m²k	qFO = 40,38 W/m ²
Te = 35,6 °C			TRANSM. COBERTURA	Aalv. = 7,8 m ²
			Esp. (m)	QFO = 314,96 W
α (Reboco) = 0,3			Laje = 0,05	OESTE
LATITUDE = 30°			Telha = 0,03	qFO = 64,38 W/m ²
Hora maior carga = 15:00			<i>Verão</i>	Aalv. = 7,8 m ²
I (norte) = 58			Rar = 0,21	QFO = 502,16 W
I (Sul) = 78			A Cob. = 9 m ²	COBERTURA
I (Leste) = 58			Cerâmica + Ar + Concreto	qFO = 6,41 W/m ²
I (Oeste) = 667			Rt = 1,8515 m ² k/W	Q = 57,66 W
H = 804			RT = 2,0615 m ² k/W	CARGA TÉRMICA
α (Cob. = Alum.) = 0,05			U = 0,49 W/m²k	CT = 1510,85 W

Fonte: Do autor (2018).

A partir da carga térmica calculada de 1510,85 W, obteve-se, por conversão, 5155 BTU/h. A potência do aparelho em questão seria de 0,516 kW.h. O custo horário máximo ficou R\$ 0,43.

A partir do Gráfico 23, apresentado no item 4.5, do dia 12/11/2018, calculou-se a carga térmica média horária de 715,62 W, ou seja, 2442 BTU/h. A potência seria 0,244 kW.h e o custo horário médio seria R\$ 0,21. Calculou-se um gasto mensal de R\$ 110,76.

4.6.3 Cômodo III

O cômodo III representa o protótipo III em escala aumentada. Abaixo, o Quadro 16 simula a carga térmica máxima para o cômodo III.

Quadro 16 – Simulação do cômodo III

Cômodo III	Esp. (m)	Cond. Térm. (W/(m.K))	TRANSM. PAREDES	NORTE
Placa de Slimstone	0,02	0,063	Placa + Argamassa	qFO = 19,75 W/m ²
Argamassa	0,01	1,15	A = 0,0031 m ²	Aalv. = 7,8 m ²
Argamassa	0,11	1,15	Rta = 0,4305 m ² k/W	QFO = 154,05 W
Bloco (C)	0,23	0,90	Placa + Bloco	SUL
Bloco (L)	0,11	0,90	A = 0,0161 m ²	qFO = 20,14 W/m ²
Bloco (A)	0,07	0,90	Rtb = 0,4571 m ² k/W	Aalv. = 7,8 m ²
Telha Sanduíche	0,03	0,0186	Rt = 0,45 m ² k/W	QFO = 157,06 W
Laje	0,05	1,75	RT = 0,62 m ² k/W	LESTE
Ti = 24 °C			U = 1,61 W/m²k	qFO = 19,75 W/m ²
Te = 35,6 °C			TRANSM. COBERTURA	Aalv. = 7,8 m ²
			Esp. (m)	QFO = 154,05 W
α (Reboco) = 0,3			Laje = 0,05	OESTE
LATITUDE = 30°			Telha = 0,03	qFO = 31,49 W/m ²
Hora maior carga = 15:00			<i>Verão</i>	Aalv. = 7,8 m ²
I (norte) = 58			Rar = 0,21	QFO = 245,62 W
I (Sul) = 78			A Cob. = 9 m ²	COBERTURA
I (Leste) = 58			Cerâmica + Ar + Concreto	qFO = 6,41 W/m ²
I (Oeste) = 667			Rt = 1,8515 m ² k/W	Q = 57,66 W
H = 804			RT = 2,0615 m ² k/W	CARGA TÉRMICA
α (Cob. = Alum.) = 0,05			U = 0,49 W/m²k	CT = 768,45 W

A partir da carga térmica calculada de 768,45 W, obteve-se, por conversão, 2622 BTU/h. A potência do aparelho em questão seria de 0,262 kW.h. O custo horário máximo ficou R\$ 0,22.

A partir do Gráfico 23, apresentado no item 4.5, do dia 12/11/2018, calculou-se a carga térmica média horária de 364,03 W, ou seja, 1242 BTU/h. A potência seria 0,124 kW.h e o custo horário médio seria R\$ 0,10. Multiplicando por 18 e por 30, obteve-se um gasto mensal de R\$ 56,34.

5 CONCLUSÃO

As pesquisas mostram que é possível realizar um projeto eficiente energeticamente sem ter um custo de construção alto utilizando materiais reciclados no processo. É necessário, contudo, realizar uma pesquisa detalhada do clima na região onde pretende-se realizar a construção, projetar de forma inteligente e utilizar simulações computacionais para avaliar diferentes hipóteses.

A aplicação de materiais isolantes no desenvolvimento de projetos é uma forma simples de reduzir o consumo de energia e, por conseguinte, contribuir com a sustentabilidade e preservação do meio ambiente.

Nota-se, através da bibliografia apresentada, predominância de autores incentivando o uso de materiais reciclados pelos benefícios ambientais e econômicos proporcionados pela reutilização desses materiais, porém, é preciso saber se esses materiais atuam de forma positiva nos testes técnicos. Afirma-se, portanto, que com o estudo correto dos materiais que serão aplicados, pode-se utilizá-los sem nenhuma complicação.

A possibilidade de utilizar materiais reciclados como materiais isolante melhora ainda mais a contribuição ao meio ambiente, pois impede que o resíduo que seria descartado, seja em aterro sanitário ou outras formas de descarte, e o utiliza de forma benéfica ao empreendimento. Para validar a possibilidade é preciso realizar testes acerca das propriedades térmicas do resíduo aplicado.

A presente pesquisa estudou o material reciclado slimstone composite, resíduo da empresa Slimstone, do Grupo SCA, de Bento Gonçalves. O material desenvolvido pela empresa é comercializado principalmente no setor naval e é composto por uma camada de

composite de polipropileno e uma camada de pedras naturais. O processo de fabricação gera resíduos que são descartados em aterro sanitário, gerando prejuízo ambiental. Com o intuito de ofertar novo destino aos resíduos, realizou-se testes dos resíduos com base nas normas regulamentadoras NBR 15.575 (ABNT, 2013) e NBR 15.220 (ABNT, 2005).

A partir do desenvolvimento de três protótipos em escala reduzida, observa-se que a transmitância térmica das paredes do protótipo III, com paredes com placas de isolamento térmico a partir dos resíduos de slimstone composite, obtiveram o menor resultado dentre os protótipos, com valor de $1,61 \text{ W/m}^2\text{K}$. O valor do protótipo I, com paredes de tijolo exposto, ficou com transmitância de $3,48 \text{ W/m}^2\text{K}$ e do protótipo II, com paredes com reboco comum, ficou com $3,28 \text{ W/m}^2\text{K}$. Ou seja, o protótipo III possui valor de transmitância térmica menor do que a metade dos outros dois protótipos.

A aferição das temperaturas internas nos protótipos e a temperatura externa aos mesmos permitiu a comparação das temperaturas entre os protótipos, resultando em melhor desempenho do protótipo III, ficando a temperatura máxima em média $3,90^\circ\text{C}$ menor que protótipo II e $5,46^\circ\text{C}$ que o protótipo I. Esse resultado demonstra empiricamente, que a resistência térmica do protótipo III é muito maior que dos outros protótipos. O resultado é comprovado quando se observa a condutividade térmica dos materiais, a qual do slimstone composite é muito inferior aos materiais convencionais.

O atraso térmico observado na tabela, desenvolvida a partir dos dados, é decorrente das mesmas propriedades térmicas. Percebe-se que a radiação solar aumenta com a aproximação do verão e com ela ocorre o aumento de temperatura ambiente. Os altos atrasos térmicos são devido à ventilação nula nos protótipos, proporcionando maior eficiência em todos os protótipos. O protótipo III teve a maior média de atraso térmico com tempo de 4,7 horas, enquanto o protótipo I teve 2,0 horas em média e o protótipo II teve 3,5 horas em média.

A análise de 48 horas seguidas permitiu a análise do acúmulo de calor entre dois dias. O protótipo III não acumulou calor entre dois dias com grande diferencial de temperatura máxima, enquanto foi menos eficiente entre dias com temperaturas máximas próximas. O acúmulo dos protótipos também é resultado da ventilação nula nos mesmos.

Analizou-se também a carga térmica dentro dos protótipos, resultando em carga térmica média do protótipo III 60% inferior ao protótipo I e 50% inferior ao protótipo II. O

resultado de tamanha diferença está no isolamento térmico das paredes. A partir da carga térmica máxima, analisou-se a representatividade de cada fachada nos protótipos. A fachada oeste é a fachada crítica para os projetos da região sul, pois é a fachada que sofre a maior incidência de radiação solar durante o período de verão, devendo ser projetada com atenção especial.

Repetiu-se a simulação de carga térmica, mas dessa vez em uma escala maior, hipotética, para analisar o consumo energético de cada protótipo. O resultado apresenta economia, com utilização de isolamento térmico a partir de resíduos de slimstone composite, de 58,75% em relação ao tijolo exposto e 49,13% ao reboco comum. No momento de maior carga térmica, obteve custo horário de R\$ 0,22, enquanto o cômodo I de R\$ 0,55 e o cômodo II de R\$ 0,43.

Conclui-se que com os resultados apresentados, o material atingiu níveis satisfatórios de isolamento térmico, podendo ser opção de isolamento em obras com tal finalidade. Portanto o estudo validou-se por dois motivos sustentáveis: desenvolveu-se um material com boas propriedades de isolamento térmico; o material poderá ser destinado a obras de engenharia civil, impedindo que seja descartado em aterro sanitário.

Sugere-se, para estudos futuros, o emprego do material em escala maior com simulação de uma habitação e a utilização do material de outra forma, sem ser no sistema de fachada ventilada. Outra possibilidade de análise seria o ciclo de vida do material ou a análise do custo de mão de obra e logístico com relação a outras formas de isolamento térmico.

REFERÊNCIAS

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 5.739**: Concreto - Ensaios de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10.004**: Classificação de Resíduos Sólidos. Rio de Janeiro, 1987.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15.220**: Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro, 2005.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15.575**: Edificações habitacionais - Desempenho. Rio de Janeiro, 2013.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Projeto de Norma 02:135.07-002**: Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro, 1998.

AL-KODMANY, Kheir; ALI, Mir M. **The future of the city**: Tall buildings and urban design. WIT press, 2013. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=yBPA9kYZXTMC&oi=fnd&pg=PP1&dq=Tall+buildings+and+urban+design+kheir&ots=RSYAuOYb7o&sig=pxJyTK0NX688I27d-t-8pw6BQNA#v=onepage&q=Tall%20buildings%20and%20urban%20design%20kheir&f=false>>. Acesso em: 24 abr. 2018.

ALIAKSANDR, Bialosau; ALIAKSANDR, Bakatovich; GASPAR, Florindo. Materiais compósitos para isolamento térmico de matérias-primas naturais e aglutinantes minerais. In: **3º Congresso Luso-Brasileiro Materiais de Construção Sustentáveis**. Coimbra, Portugal, 14 fev. 2018. Disponível em: <<https://iconline.ipleiria.pt/handle/10400.8/3039>>. Acesso em 24 abr. 2018.

ANANDA METAIS. **Catálogo telhas**. 2014. Disponível em: <<http://www.anandametais.com.br/wp-content/uploads/2014/11/telhas.pdf>>. Acesso em: 11 nov. 2018.

ÂNGULO, Sérgio Cirelli; ZORDAN, Sérgio Edurado; JOHN, Vanderley Moacyr. Desenvolvimento sustentável e a reciclagem de resíduos na construção civil. In: IV Seminário de Desenvolvimento Sustentável e a Construção Civil – Materiais Recicláveis e suas

Aplicações. **Anais eletrônicos...** São Paulo/SP, 2001. Disponível em: <<http://www.ambiente.sp.gov.br/municipioverdeazul/files/2011/11/DesenvSustentReciclagemResiduosConstrCivil.pdf>>. Acesso em: 16 abr. 2018.

ARAÚJO, Márcio Augusto. A moderna construção sustentável. **IDHEA-Instituto para o Desenvolvimento da Habitação Ecológica**, 2008. Disponível em: <https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/30508580/moderna.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1521405043&Signature=HRkG2nChWgWmn%2BtaWZvi7nZX4o4%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DA_moderna_construcao_sustentavel.pdf>. Acesso em: 18 mar. 2018.

ASDRUBALI, Francesco; D'ALESSANDRO, Francesco; SCHIAVONI, Samuele. A review of unconventional sustainable building insulation materials. **Sustainable Materials and Technologies**, v. 4, p. 1-17, 2015. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214993715000068>>. Acesso em: 24 abr. 2018.

BERTOTI, Angélica. **Desenvolvimento de técnica experimental para determinação da condutividade térmica**. Univates, Lajeado, 2018. No prelo.

BRASIL conquista certificação sustentável nível máximo. **cimentoitambe.com.br**, Porto Alegre, 4 mar. 2015. Disponível em: <<http://www.cimentoitambe.com.br/brasil-certificacao-sustentavel>>. Acesso em: 18 mar. 2018.

BRASIL. Lei nº. 8.078, de 11 de setembro de 1990. Código de Defesa do Consumidor. Dispõe sobre a proteção do consumidor e dá outras providências. 1990. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L8078.htm>. Acesso em: 02 mai. 2018.

BRÁS, Ana; LEAL, Márcio; FARIA, Paulina. Argamassas com comportamento térmico melhorado com materiais sustentáveis. In: **CRSEEL 2012-2ª Conferência Construção e Reabilitação Sustentável de Edifícios no Espaço Lusófono**. M. Amado, F. Pinho, P. Faria, A. Pinho-Ramos, 2012. p. CD. Disponível em: <<https://run.unl.pt/handle/10362/11301>>. Acesso em: 16 abr. 2018.

BRITO, Gustavo F.; AGRAWAL, Pankaj; ARAÚJO, Edcleide M.; DE MÉLO, Tomás J. A. Biopolímeros, polímeros biodegradáveis e polímeros verdes. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v. 6, n. 2, p. 127-139, 2011. Disponível em: <<http://www2.ufcg.edu.br/revista-remap/index.php/REMAP/article/download/222/204>>. Acesso em: 08 mai. 2018.

BROWN, Stephen K. High quality indoor environments for sustainable office buildings. **<https://digitalcollections.qut.edu.au/1661/>**, 2008. Disponível em: <<http://digitalcollections.qut.edu.au/1690/>>. Acesso em: 22 mar. 2018.

CARLO, Joyce; PEREIRA, Fernando OR; LAMBERTS, Roberto. Iluminação natural para redução do consumo de energia de edificações de escritório aplicando propostas de eficiência energética para o código de obras do Recife. In: **CONFERÊNCIA LATINO AMERICANA DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL, ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA NO AMBIENTE CONSTRUÍDO**. 2004. Disponível em: <ftp://ip20017719.eng.ufjf.br/Public/AnaisEventosCientificos/ENTAC_2004/trabalhos/PAP0370d.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2018.

CHEMIN, B. F. **Manual da Univates para Trabalhos Acadêmicos: planejamento, elaboração e apresentação**. 3. Ed. Lajeado, Univates, 2015. E-book. Disponível em: <https://www.univates.br/editora-univates/media/publicacoes/110/pdf_110.pdf>. Acesso em: 14 mai. 2018.

CIB. **Agenda 21 para a construção sustentável**. Relatório. Publicação 237. São Paulo, 2000.

COSTA FILHO, Amando Candeira. Desenvolvimento local e Qualidade ambiental: o caso do projeto da cidade de Masdar. **III Encontro da Associação Nacional de Pesquisa e Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo**. São Paulo, 2014. Disponível em: <http://www.anparq.org.br/dvd-enanparq-3/htm/Artigos/SC/POSTER/SC-AS-020_COSTA.pdf>. Acesso em: 22 mar. 2018.

DE ASSUNÇÃO, Lucienei Tavares; DE CARVALHO, Geraldo Ferreira; BARATA, Márcio Santos. Avaliação das propriedades das argamassas de revestimento produzidas com resíduos da construção e demolição como agregado. **Exacta**, vol. 5, n. 2, p. 223-230, 2007. Disponível em: <http://www.dcc.ufpr.br/mediawiki/images/f/fd/Tema_4_Artigo_2.pdf>. Acesso em: 16 abr. 2018.

DE OLIVEIRA, Jairo Cardoso; DE FARIA, Ana Cristina. Impacto econômico da construção sustentável: pesquisa documental sobre a reforma do Estádio do Mineirão. **XIX ENGEMA**. 2017. Disponível em: <<http://engemausp.submissao.com.br/19/anais/arquivos/389.pdf>>. Acesso em: 22 mar. 2018.

DE OLIVEIRA, Márcio Joaquim Estefano; DE ASSIS, Cássia Silveira. Aderência do aço-concreto produzido com agregado reciclado. **Exacta**, v. 4, n. 1, p. 135-141, 2008. Disponível em: <<http://www4.uninove.br/ojs/index.php/exacta/article/viewFile/664/623>>. Acesso em: 16 abr. 2018.

DE SOUZA, Hamilton Moss; LEONELLI, Paulo Augusto; PIRES, Carlos Alexandre Príncipe; SOUZA JÚNIOR, Valdir Borges; PEREIRA, Roberto Wagner Lima. Reflexões sobre os principais programas em eficiência energética existentes no Brasil. **Revista Brasileira de Energia**, v. 15, p. 7-26, 2009. Disponível em: <https://new.sbpe.org.br/wp-content/themes/sbpe/img/artigos_pdf/v15n01/v15n01a1.pdf>. Acesso em: 16 abr. 2018.

DI TRAPANO, Patrizia. Edifício Porto Brasilis-RJ uma discussão sobre as certificações LEED e AQUA e o resultado formal em clima quente úmido. **XII ENCAC e VIII ELACAC**. Brasília, 2013. Disponível em: <<http://www.infohab.org.br/encac/files/2013/topico5artigo09.pdf>>. Acesso em: 18 mar. 2018.

FROTA, Anésia; SCHIFFER, Sueli. **Manual de conforto térmico**. 8. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2007.

FUNDAÇÃO CARLOS ALBERTO VANZOLINI – FCAV. **Referencial Técnico de Certificação**: Edifícios do setor de serviços–Processo AQUA. FCAV. São Paulo, 2007. Disponível em: <<http://vanzolini.org.br/download/RTEscritorios%20e%20Edif%C3%ADcios%20escolares-V0-outubro2007.pdf>>. Acesso em: 18 mar. 2018.

GARLET, Givanildo. Aproveitamento de resíduos de EVA (Ethylene Vinyl Acetate) como

agregado para concreto leve na construção civil. 1998. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/118243>>. Acesso em: 16 abr. 2018.

KAMIMURA, Eliane. **Potencial de utilização dos resíduos de borracha de pneus pela indústria da construção civil**. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFSC, Florianópolis, 127p., 2002. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/83493>>. Acesso em: 24 abr. 2018.

KEEBLE, Brian R. The Brundtland report: 'Our common future'. **Medicine and War**, v. 4, n. 1, p. 17-25, 1988. Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/07488008808408783>>. Acesso em: 18 mar. 2018.

KUAMOTO, Luciana Hikari. **Utilização da ágata do Rio Grande do Sul como matéria prima para luminária**. UFRGS, Porto Alegre, 91p., 2014. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/116082/000955917.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 06 mai. 2018.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando Oscar Ruttkay. **Eficiência energética na arquitetura**. São Paulo, Brasil. PW Editores, 1997.

LAMBERTS, Roberto; GHISI, Enedir; PAPST, Ana L. Desempenho térmico de edificações. **Universidade Federal de Santa Catarina**, 2000. Disponível em: <http://www.labee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/ApostilaECV5161_v2016.pdf>. Acesso em: 06 mai. 2018.

LÔBO, Denise Gonçalves Ferreira; BITTENCOURT, Leonardo Salazar. A influência dos captadores de vento na ventilação natural de habitações populares localizadas em climas quentes e úmidos. **CEP**, v. 57036, p. 540, 2003. Disponível em: <https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/54250596/3451-11847-1-PB.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1524603348&Signature=%2BO20HRgggtbzZEwqOECmzFhz%2Fac%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DA_influencia_dos_captadores_de_vento_na.pdf>. Acesso em: 22 mar. 2018.

LÔBO, Luciana Cantuária; CARVALHO, Selma. Estratégias mercadológicas de empresas transnacionais em um mercado global marcado por diferentes níveis de desenvolvimento das nações: um estudo de caso da the coca-cola company 10.5102/uri. v9i1. 1339. **Universitas: Relações Internacionais**, v. 9, n. 1, 2011. Disponível em: <<https://www.publicacoesacademicas.uniceub.br/relacoesinternacionais/article/view/1339/1348>>. Acesso em: 22 mar. 2018.

LUCAS, Denis; BENATTI, Cláudia Telles. Utilização de resíduos industriais para a produção de artefatos cimentícios e argilosos empregados na construção civil. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 1, n. 3, p. 405-418, 2008. Disponível em: <<http://periodicos.unicesumar.edu.br/index.php/rama/article/view/850>>. Acesso em: 16 abr. 2018.

MENDES, Nathan; WESTPHAL, Fernando Simon; LAMBERTS, Roberto; BELLINI, José A. da Cunha Neto. Uso de instrumentos computacionais para análise do desempenho térmico e energético de edificações no Brasil. **CEP**, v. 80215, p. 901, 2005. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/282716114_Uso_de_instrumentos_computacionais_para_a_analise_do_desempenho_termico_e_energetico_de_edificacoes_no_Brasil?enrichId=rgreq-70e3eb820cd995b29076079a33dcf3fd-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdloZl4MjcXNjExN>

DtBUzo1MDA4MDQyNjQxMzI2MDhAMTQ5NjQxMjQ0OTU1MA%3D%3D&el=1_x_3&_esc=publicationCoverPdf>. Acesso em: 15 abr. 2018.

MERCADO LIVRE. Disponível em: < <https://www.mercadolivre.com.br>>. Acesso em: 16 mai. 2018.

NASCIMENTO, Tainah Leão; LEÃO, Danielle Comitante; ROCHA, Joice Stela Melo. Certificação ambiental na construção civil brasileira. **Revista acadêmica FEOL**, v. 1, n. 1, p. 104-118, 2016. Disponível em: < <http://177.8.219.7:8081/revista/index.php/R1/article/view/58> >. Acesso em: 22 mar. 2018.

NOVUS. **Módulo de Aquisição e Registro de Dados – FieldLogger**. 2017a. Disponível em: <http://www.novus.com.br/site/default.asp?TroncoID=621808&SecaoID=607370&SubsecaoID=0&Template=../catalogos/layout_produto.asp&ProdutoID=917491>. Acesso em: 27 mai. 2018.

NOVUS. **Termorresistências PT100**. 2017b. Disponível em: <http://www.novus.com.br/site/default.asp?TroncoID=621808&SecaoID=619288&SubsecaoID=0&Template=../catalogos/layout_produto.asp&ProdutoID=545403&Idioma=55>. Acesso em: 27 mai. 2018.

PAZETO, Abiliane de Andrade. **Caracterização experimental de soluções de reforço para placas de rochas ornamentais**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, São Carlos, 179p., 2017. Disponível em: < <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18132/tde-08062017-161300/en.php>>. Acesso em: 06 mai. 2018.

PRODANOV, Cleber Cristiano; DE FREITAS, Ernani Cesar. **Metodologia do Trabalho Científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico - 2. Ed.** Editora Feevale. Novo Hamburgo, 2013.

QUINTÃO, Rosana Santoro. Edificações sustentáveis e edifícios giratórios abordam um novo cenário na arquitetura contemporânea. **Belo Horizonte: IPOG**, 2012. Disponível em: < <http://www.ipoggo.com.br/uploads/arquivos/25d9dfcf65c0d83e70302abfde8dc241.pdf> >. Acesso em: 22 mar. 2018.

RAMOS, Katiúcia Megda; MATTIA, Pedro Henrique Silva; LUKIANTCHUKI, Marieli Azoia. Sheds extratores e captadores de ar: análise da influência da geometria através de ensaios analógicos na mesa d'água. **XIV ENCAC e X ELACAC**. Balneário Camboriú, 2017. Disponível em: <<http://www.infohab.org.br/encac/files/2017/topico3artigo12.pdf>>. Acesso em: 15 abr. 2018.

RIZZO, Rosana Bacicheti; SARDEIRO, Paula. Conforto térmico em salas de aula de tipologia similar: influência do entorno. **XIV ENCAC e X ELACAC**. Balneário Camboriú, 2017. Disponível em: <<http://www.infohab.org.br/encac/files/2017/topico3artigo08.pdf>>. Acesso em: 15 abr. 2018.

SAITO, Cristhian. **Avaliação de desempenho térmico de sistemas construtivos tradicionais de alvenarias e coberturas**. Dissertação de mestrado. IPT, São Paulo, 198p., 2009. Disponível em: <http://cassiopea.ipt.br/teses/2009_HAB_Cristhian_Saito.pdf>. Acesso em: 01 mai. 2018.

SIQUEIRA, Mariana Santos de; GUSMÃO, Alexandre Duarte; SOUZA, Paula Christyan de Medeiros. Estudo Geotécnico sobre a Utilização de Resíduos de Construção e Demolição como Agregado Reciclado em Pavimentação. **II Geojovem e a Mesa Redonda: Estabilização de Encostas na Região Serrana do Rio de Janeiro**, 2006. Disponível em: <<http://www.abms.com.br/links/bibliotecavirtual/IIgeojovem2006/2006-siqueira-gusmao.pdf>>. Acesso em: 16 abr. 2018.

SLIMSTONE. **Slimstone design collection**. Disponível em: <<http://www.slimstone.com.br>>. Acesso em: 06 mai. 2018.

SPINELLI, Rodrigo; CAMBEIRO, Faustino Patiño; KONRAD, Odorico. Bioclimatic strategies for the city of Lajeado/RS-Brazil, using data analysis of regional climate. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 21, 2017. Disponível em: <<http://revistas.ufpr.br/revistaabelima/article/view/50554>>. Acesso em: 16 abr. 2018.

VENÂNCIO, Raoni; PEDRINI, Aldomar. Influência de decisões arquitetônicas na eficiência energética de edificações do campus/UFRN. **XII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, v. 12, 2008. Disponível em: <<http://www.infohab.org.br/entac2014/2008/artigos/A1721.pdf>>. Acesso em: 15 abr. 2018.

VENTURA, Ana Mafalda FM. Os Compósitos e a sua aplicação na Reabilitação de Estruturas metálicas. **Ciência & Tecnologia dos Materiais**, v. 21, n. 3-4, p. 10-19, 2009. Disponível em: <<http://www.scielo.mec.pt/pdf/ctm/v21n3-4/v21n3-4a03.pdf>>. Acesso em: 08 mai. 2018.

VIEIRA, Geilma Lima; DAL MOLIN, Denise Carpena Coitinho. Contribuição ao estudo e análise de viabilidade da utilização de concretos com agregados Reciclados de resíduos de construção e demolição. **Seminário de Patologias de Edificações. Novos Materiais e Tecnologias Emergentes**, v. 2, 2004. Disponível em: <https://s3.amazonaws.com/academia.edu/documents/43284874/CONTRIBUIO_AO_ESTUDO_E_ANALISE_DE_VIABILIDADE_20160302-3273-1tmqu9m.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1523929341&Signature=4EBL0CPzrJrZdANm%2FHYYhoIRtHl4%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DContribuicao_Ao_Estudo_e_Analise_De_Viab.pdf>. Acesso em: 16 abr. 2018.

VIEIRA, Geilma Lima. Estudo do processo de corrosão sob a ação de íons cloreto em concretos obtidos a partir de agregados reciclados de resíduos de construção e demolição. 2003. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/4062>>. Acesso em: 16 abr. 2018.

WAHL, Lauren; MAAS, Stefan; WALDMANN, Danièle. Shear stresses in honeycomb sandwich plates: Analytical solution, finite element method and experimental verification. **Journal of Sandwich Structures & Materials**, v. 14, n. 4, p. 449-468, 2012. Disponível em: <<http://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/1099636212444655>>. Acesso em: 06 mai. 2018.



UNIVATES

R. Avelino Tallini, 171 | Bairro Universitário | Lajeado | RS | Brasil
CEP 95900.000 | Cx. Postal 155 | Fone: (51) 3714.7000
www.univates.br | 0800 7 07 08 09